

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## **Aplikace technické diagnostiky na čerpadlech Herborner**

Application of Technical Diagnostics  
to the Herborner Pumps

Student:

Martin Michalík

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Michalík**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování**  
Téma: **Aplikace technické diagnostiky na čerpadlech Herborner**  
**Application of Technical Diagnostics to the Herborner Pumps**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Vibrační diagnostika je jednou z nejvýznamnějších metod pro určování technického stavu strojních zařízení. Využijte proto vhodné nástroje této metody, případně jiné vhodné metody a dostupná zařízení pro určování technického stavu čerpadel. V rámci bakalářské práce se zabývejte problematikou týkající se čerpadel, dále se zabývejte problematikou možnosti identifikace vznikajících závad. Změřená data analyzujte a proveďte následná vyhodnocení.

### V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

### Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej*,

*teoria i praktika*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5  
Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

FS\_SME\_05\_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



---

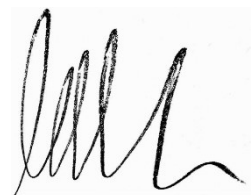
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech čerpadel získaných od firmy Aquapark Olomouc, a.s. Společnost s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 21.5.2018



.....  
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Michalík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dolany 301, 783 16

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

MICHALÍK, M. *Aplikace technické diagnostiky na čerpadlech Herborner: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 77 s. Vedoucí práce: Ing. Blata, J., Ph.D.

Tématem bakalářské práce je aplikace technické diagnostiky na horizontálních a vertikálních čerpadlech. V úvodu této práce je stručně vysvětlena vibrační diagnostika a problematika její aplikace. Dále se práce zabývá samotnými vibracemi, jejich vyhodnocováním a příčinami vzniku. Pozornost je také věnována základním informacím o čerpadlech, jejich rozdělení a využití v praxi. V další kapitole je nastíněna problematika opotřebení, zejména kavitační jev, se kterým se v průběhu práce setkáme.

Druhá část bakalářské práce se zabývá samotnou diagnostikou čerpadel. Zde je popsán proces měření, naměřená data, vyhodnocení a samotný závěr o technickém stavu každého diagnostikovaného čerpadla.

## **ANNOTATION BACHELOR THESIS**

MICHALÍK, M. *Application of Technical Diagnostics to the Herborner Pumps: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 77 p. Supervisor: Ing. Blata, J., Ph.D.

The theme of bachelor thesis is Application of Technical Diagnostics to the horizontal and vertical Pumps. The introduction is generally explained the vibration diagnostics and the problem with the application. Further, the thesis deals with the vibrations themselves, their evaluation and the reasons of their origin. Attention is pushed ahead to basic information about pumps also allocations of pumps and their usage in the practice. In the next chapter is a outlined problems of wear, especially the cavitation that we come across during the work.

The second part of the bachelor thesis is about the diagnostics of horizontal and vertical pumps. Here is describe the measurement process, data evaluation and conclusion about the technical condition of the diagnosed pumps.

# OBSAH

1	ÚVOD .....	12
2	VIBRODIAGNOSTIKA .....	13
2.1	Základní pojmy .....	13
2.2	Příčiny vzniku vibrací .....	14
2.2.1	Nevývaha .....	14
2.2.2	Nesouosost .....	15
2.2.3	Mechanické uvolnění .....	17
2.3	Vibrace elektromotorů .....	17
2.3.1	Elektromagneticky způsobené vibrace .....	17
2.3.2	Mechanicky způsobené vibrace .....	17
2.4	Vibrace čerpadel .....	18
2.4.1	Kavitační jev .....	18
2.4.2	Lopátkové vibrace .....	18
3	ČERPADLA .....	19
3.1	Základní informace .....	19
3.2	Rozdělení čerpadel .....	20
3.3	Hydrostatická (objemová) čerpadla .....	20
3.3.1	Pístová čerpadla .....	20
3.3.2	Čerpadla s rotujícími písty .....	21
3.3.3	Zubová čerpadla .....	21
3.3.4	Lamelová čerpadla .....	22
3.3.5	Čerpadla s pružným rotorem .....	23
3.3.6	Šroubová čerpadla .....	23
3.3.7	Membránová čerpadla .....	24
3.4	Hydrodynamická (rychlostní) čerpadla .....	24

3.4.1	Odstředivá (radiální) čerpadla .....	24
3.4.2	Vrtulová (axiální) čerpadla .....	26
4	OPOTŘEBENÍ.....	27
4.1	Úvod do opotřebení.....	27
4.1.1	Základní pojmy .....	27
4.1.2	Časový průběh opotřebení .....	27
4.1.3	Mechanismy a základní druhy opotřebení .....	28
4.2	Adhezivní opotřebení .....	29
4.3	Abrazivní opotřebení.....	29
4.4	Erozivní opotřebení.....	30
4.5	Kavitační opotřebení .....	31
4.6	Únavové opotřebení .....	33
4.7	Vibrační opotřebení.....	34
5	DIAGNOSTIKOVANÁ ČERPADLA .....	35
5.1	UNIBAD .....	35
5.1.1	Údaje motoru .....	36
5.1.2	Všeobecné údaje .....	36
5.1.3	Údržba / čištění .....	37
5.2	UNIBLOCK.....	37
5.2.1	Údaje motoru .....	38
5.2.2	Všeobecné údaje .....	39
5.2.3	Údržba / čištění .....	39
6	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	41
6.1	Vertikální filtrační čerpadla .....	42
6.1.1	UNIBAD 09 / 10.....	43
6.1.2	UNIBAD 11 / 12.....	46
6.1.3	UNIBAD 13 / 14.....	49



6.1.4	UNIBAD 15 / 16.....	52
6.2	Horizontální čerpadla .....	55
6.2.1	UNIBLOCK 01 .....	56
6.2.2	UNIBLOCK 02 .....	58
6.2.3	UNIBLOCK 04 .....	60
6.2.4	UNIBLOCK 05 .....	62
6.2.5	UNIBLOCK 07 .....	64
7	CELKOVÝ ZÁVĚR .....	69
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	71
	SEZNAM TABULEK .....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	74
	SEZNAM GRAFŮ .....	76

## Seznam použitých zkratk:

ZNAČKA	NÁZEV	JEDNOTKA
<b>g</b>	Zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
<b>v</b>	Rychlost	[mm·s <sup>-1</sup> ]
<b>t</b>	Čas	[s]
<b>f</b>	Frekvence	[Hz]
<b>F</b>	Síla	[N]
<b>Q</b>	Průtok	[m <sup>3</sup> /h]
<b>H</b>	Výška	[m]
<b>p</b>	Tlak	[MPa]
<b>RMS</b>	Efektivní hodnota	
<b>FFT</b>	Rychlá fourierova transformace	
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (mezinárodní organizace pro normalizaci)	
<b>Obr.</b>	Obrázek	
<b>Tzn.</b>	To znamená	
<b>Apod.</b>	A podobně	
<b>x</b>	Násobek	
<b>Atd.</b>	A tak dále	
<b>L</b>	Ložisko	
<b>V</b>	Vertikální směr	
<b>H</b>	Horizontální směr	
<b>A</b>	Axiální směr	
<b>Č</b>	Čerpadlo	
<b>M</b>	Motor	
<b>Tab.</b>	Tabulka	
<b>č.</b>	Číslo	
<b>Kap.</b>	Kapitola	
<b>Max.</b>	Maximální	
<b>ČSN</b>	Česká technická norma	
<b>PEAK</b>	Špička	

<b>D-D</b>	Osa čepu
<b>T-T</b>	Hlavní osa setrvačnosti
<b>ot.</b>	Otáčky
<b>min.</b>	Minuta
<b>IP</b>	Stupeň krytí
<b>Δ</b>	Zapojení do trojúhelníku
<b>Y</b>	Zapojení do hvězdy
<b>St</b>	Stokes (jednotka viskozity)
<b>DIN</b>	Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
<b>Cu</b>	Měď
<b>Al</b>	Hliník
<b>Fe</b>	Železo
<b>Ni</b>	Nikl
<b>hh</b>	Hodiny
<b>mm</b>	Minuty
<b>AOR</b>	Dovolený pracovní rozsah

# 1 ÚVOD

Úkolem mé bakalářské práce je zhodnotit technický stav čerpadel značky HERBORNER ve společnosti Aquapark Olomouc. Tato čerpadla jsou jednou z nejdůležitějších částí celé společnosti, neboť polovina z nich má na starosti dopravu vody k vodním atrakcím, tobogánům atd., a druhá polovina těchto čerpadel se stará o chod celého filtračního systému bazénové vody.

Na tato čerpadla jsem se rozhodl aplikovat metody vibrační diagnostiky. Měření chci provést ve více termínech, abych zjistil zda se technický stav s odstupem času mění. Zaznamenání vibrací proběhne ve třech směrech (horizontálním, vertikálním a axiálním) za pomoci vibračního analyzátoru ADASH VA4 PRO. Vibrace budou měřeny na obou ložiscích čerpadla a na jeho pracovní komoře.

Ze získaných dat a poznatků z měření budu posuzovat technický stav strojů, hledat možné závady a případně navrhnou jejich odstranění.

## 2 VIBRODIAGNOSTIKA

Tato kapitola byla vytvořena na základě literatury [10]

Vibrodiagnostika jako taková se zaměřuje na zjišťování a měření vibrací rotujících zařízení. Tyto naměřené hodnoty dokáží podat reálný obraz o technickém stavu sledovaného zařízení, který se dá dále využít k plánování a řízení údržby. Obecně u rotujících zařízení vznikají vibrace v důsledku nějakého dynamického namáhání. Intenzita vibrací dost často souvisí se stavem ložisek, převodovek, nevývahou, nesouosostí, opotřebením apod. [10]

### 2.1 Základní pojmy

- **DIAGNÓZA** – určení a klasifikace aktuálního technického stavu a provozuschopnosti sledovaného objektu. Základní úkoly diagnózy:
  - Detekce: zjištění vznikající poruchy.
  - Lokalizace: určení místa vzniku poruchy.
  - Specifikace: určení příčiny na základě zjištěných parametrů signálu.
  - Predikce: určení maximální zbytkové životnosti nebo úplného vyřazení z důvodu poruchy.
- **DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM** – slouží k vyhodnocení technického stavu objektu. Skládá se ze dvou prvků:
  - Diagnostické prostředky: souhrn technického vybavení, postupů a metod pro určení diagnózy sledovaného objektu.
  - Diagnostický objekt a obsluha.
- **TECHNICKÝ STAV** – okamžitá informace o provozuschopnosti sledovaného objektu. Určuje se na základě velikosti a průběhu diagnostické veličiny.
- **DIAGNOSTICKÁ VELIČINA** – ukazatel technického stavu objektu (fyzikální, funkční).
- **PROVOZUSCHOPNOST** – stav, při kterém sledovaný objekt plní požadované úkoly za daných podmínek.
- **PORUCHA** – stav, při kterém sledovaný objekt není schopen plnit požadované úkoly.

## 2.2 Příčiny vzniku vibrací

Nově vzniklé poruchy bývají většinou doprovázeny zvýšenými vibracemi. Do jisté doby mohou být hodnoty vibrací zanedbatelné a není třeba jim věnovat příliš pozornosti. Pokud však hodnoty vibrací překročí normou stanovené limity, je třeba provést diagnózu, určit důvod těchto zvýšených vibrací a navrhnout možná řešení. Základní příčiny vzniku nadměrných vibrací:

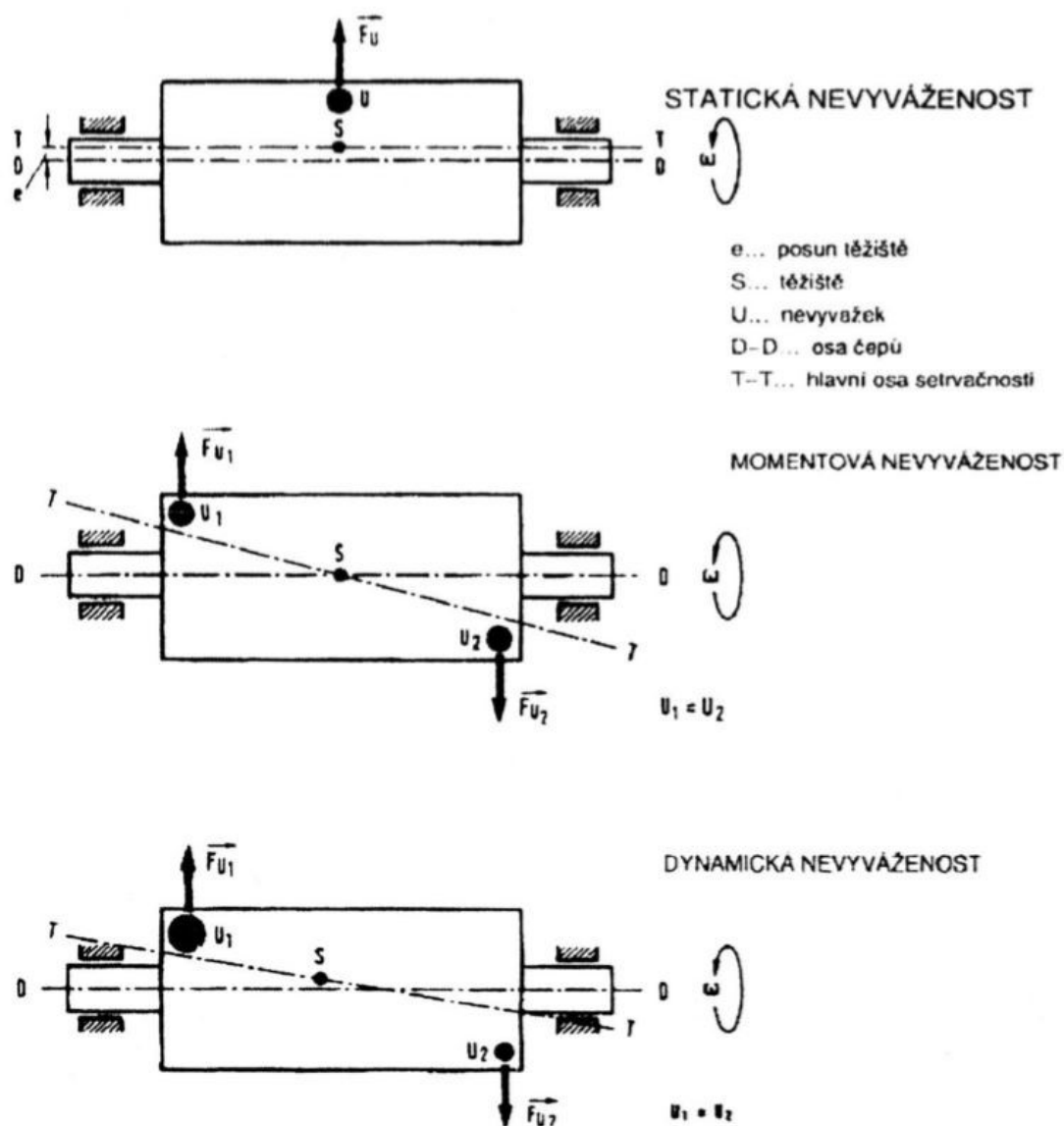
### 2.2.1 Nevývaha

Nevyváženost může způsobovat mnoho faktorů. Jedním z nich je výrobní a montážní nevývaha, kam spadá např. nerovnoměrné rozložení materiálu, výrobní úchytky, trvalá deformace, nekruhovitost atd. Dále se jedná o nevyváženost z důvodu funkční příčiny, jako např. nerovnoměrné opotřebení rotoru nebo jeho deformace. Nevývaha je rozdělena do třech skupin:

**Statická nevyváženost** – zde je chyba v těžišti, které posouvá osu otáčení mimo hlavní osu setrvačnosti. Statickou nevyváženost lze sledovat u hřídele položené na ploše s minimálním třením, kdy nejtěžší bod zaujme vždy nejnižší pozici. [10]

**Momentová nevyváženost** – zde je osa otáčení nakloněna o určitý úhel a protíná hlavní osu setrvačnosti v těžišti rotoru. U této nevývahy působí dvě síly proti sobě, a proto se vyvažování provádí za chodu stroje. Převládá u strojů s dvěma a více spojkami. [10]

**Dynamická nevyváženost** – kombinace momentové a statické nevyváženosti. Těžiště neleží na hlavní ose setrvačnosti a osa otáčení je nakloněna o určitý úhel. Vyvažování probíhá ve více rovinách. Nejprve se vyvažuje statická a potom momentová. [10]



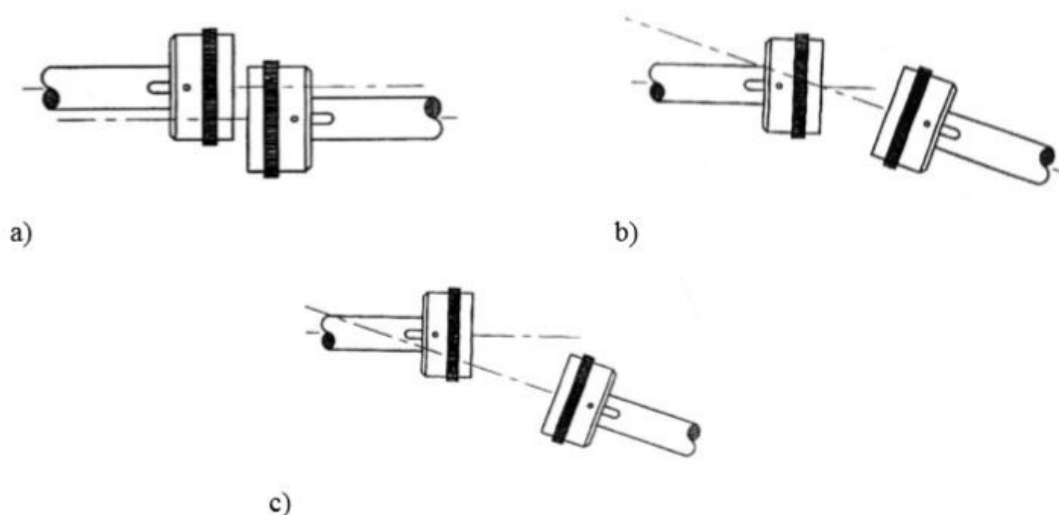
Obr. 1 Typy nevyváženosti [10]

### 2.2.2 Nesouosost

Točivý moment je přenášen z hřídele na hřídel za pomoci spojek. Tímto spojením se nám vytváří soustrojí, které pak s dalšími prvky tvoří funkční jednotky. Právě v těchto místech je nutno dbát na přesnost osového spoje hřídelů. Případné odchylky osy mohou způsobovat vynucené síly a kmity, které mají neblahé účinky na hřídele, spojky, ložiska a samotné základy ustaveného stroje. Tyto vynucené síly a kmity jsou nebezpečné ve chvíli, kdy překročí předepsané limity. Po překročení těchto limitů může docházet k trvalým deformacím hřídele a dřívější únavě materiálu. [10]

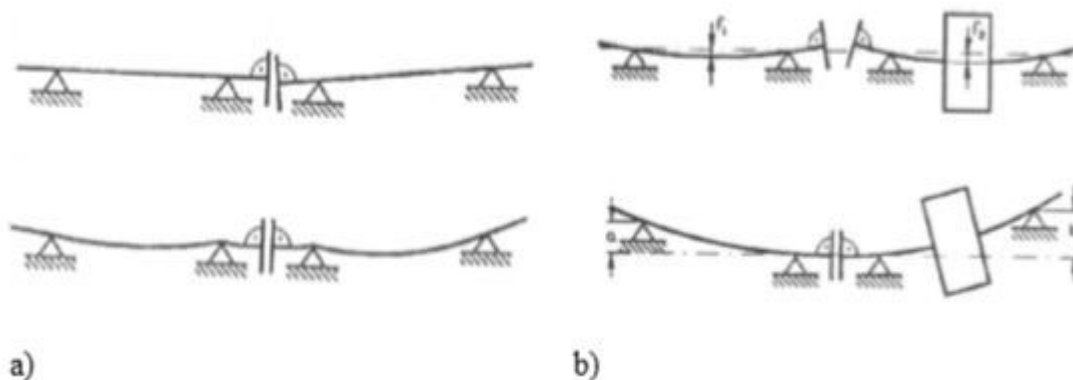
V praxi je tato příčina závad uváděna jako druhá nejčastější. Těmto závadám lze předcházet správným vyrovnaním os. Jestliže je poloha os nevyrovnaná, dochází k násilnému spojení přírub, což má za důsledek ohybové namáhání rotoru a vzniká tak statické zatížení ložisek. Nesouosost může zapříčinit např. vyšší zatížení ložisek, snížení životnosti ložisek, větší opotřebení těsnění, vyšší vibrace, větší hluk, vyšší spotřebu energie. Nesouosost rozdělujeme do tří skupin. [10]

- Druhy nesouososti
  - a) Paralelní přesazení
  - b) Úhlové přesazení
  - c) Paralelní a úhlové přesazení



Obr. 2 Druhy nesouososti [10]

- Příčiny nesouososti
  - a) Násilné spojení úhlově a paralelně přesazených spojkových kotoučů
  - b) Průhyb vlastní vahou při násilném spojení spojkových kotoučů



Obr. 3 Příčiny nesouososti [10]



### **2.2.3 Mechanické uvolnění**

Zde se jedná např. o uvolnění šroubu, vytvoření trhlin na rámu, popraskání svaru apod. Příčinou těchto závad bývají právě vzniklé vibrace od chodu sledovaného stroje. Tyto závady jsou doprovázeny dalším zvýšením vibrací a navýšením hlučnosti chodu stroje.

K určení místa uvolněné části se přikládá měřič vibrací postupně na patky stroje, základový rám a samotné základy sledovaného objektu. Na základě rozdílu hodnot vibrací se může lokalizovat místo uvolnění. [10]

## **2.3 Vibrace elektromotorů**

V praxi bývají vibrace elektromotoru dvojího původu:

- Mechanického původu (poruchy hřídelí, ložisek, kostry, apod.).
- Elektromagnetického původu (závady v elektrickém obvodu, magnetickém obvodu rotoru a statoru).

### **2.3.1 Elektromagneticky způsobené vibrace**

Takto vzniklé vibrace způsobují např. kmitání kostry a nejčastěji se objevují u elektricky rotujících strojů. Možné příčiny vzniku těchto vibrací jsou závady jako například zvýšení přechodových odporů, poruchy ve vinutí rotoru, závitové zkraty nebo zahřívání vinutí. Způsob, jak určit že jde o elektromagneticky způsobené vibrace je, že se stroj vypne a zkoumá se pokles vibrací v závislosti na čase. Rychlý pokles ukazuje právě na vibrace elektromagnetického původu. [10]

### **2.3.2 Mechanicky způsobené vibrace**

Tyto závady většinou nevedou k okamžitému odstavení stroje. Často se zde jedná o chvění, které může být zapříčiněno nevyvážením rotujících částí nebo nesouosostí hřídelí. Důležitým poznatkem je, že nevyváha může vzniknout už při výrobě elektromotoru. Proto je důležité naměřit vibrace už při záběhu stroje. Takto vzniklá chvění se velice dobře šíří celou konstrukcí sledovaného stroje a je velmi důležité vybrat správné místo pro umístění zařízení pro měření vibrací. [10]

## **2.4 Vibrace čerpadel**

Zde se budu věnovat kavitačnímu jevu a lopatkovým frekvencím.

### **2.4.1 Kavitační jev**

Jedná se o velmi častý jev u odstředivých čerpadel. Detailněji je kavitační jev jako proces opotřebení probrán v kapitole č.4. Právě zánik kaveren, tzv. implozí, vytváří tlakové vlny s velkou amplitudou a rychlostí. Takto vzniklé tlakové vlny při kontaktu s materiálem čerpadla mění svou energii na energii vibrační. Projevem těchto vibrací je nerovnoměrný nárůst širokého spektra frekvenčních složek. Kavitaci lze snadněji určit při zvětšování průtoku čerpané kapaliny. [10]

### **2.4.2 Lopatkové vibrace**

Důvodem vzniku těchto vibrací je změna směru kapaliny, která obtéká jednotlivé lopatky. Princip je podobný jako u kavitačního jevu. I tady, důsledkem vzniku rázových vln od změny směru kapalin a kontaktu s funkční plochou čerpadla, vznikají vibrace.

Při aplikaci technické diagnostiky na čerpadla je dobré znát počet lopatek na oběžném kole. A to proto, že frekvence lopatkových vibrací přímo souvisí s rotací hřídele a ve frekvenčním spektru odpovídá násobkům frekvence otáčení hřídele. [10]

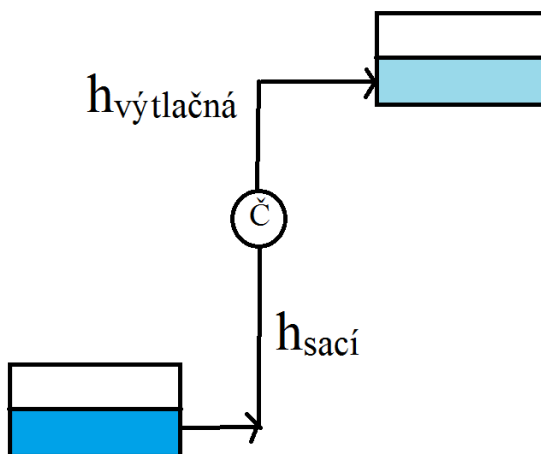
### 3 ČERPADLA

Tato kapitola byla vytvořena na základě literatury [3, 4, 5, 6, 7, 10, 11]

#### 3.1 Základní informace

Čerpadla jsou všeobecně známá jako stroje na přepravu kapalin. Tyto stroje dodávají kapalině tlakovou a kinematickou energii za účelem transportu kapaliny. Jedny ze základních parametrů jsou objemový průtok, označován velkým písmenem  $Q$  [l/s], a dopravní výška, označována velkým písmenem  $H$  [m]. Dopravní výška je součtem sací a výtlačné výšky. Dalším parametrem jsou otáčky, značené  $n$  [ot/min], které charakterizují pohon čerpadla. [5, 7]

**Sací výška** se odvíjí od hustoty dopravované kapaliny, její viskozity, střední rychlosti proudící kapaliny, tlakových ztrát a na její teplotě. Pro čerpání kapalin s vysokou teplotou se volí nulová nebo i záporná sací výška, tzn. že sání čerpadla je pod úrovní hladiny čerpané kapaliny. **Výtlačná výška** je rozdíl výšky mezi čerpadlem a hladinou kapaliny v místě, kam je tato kapalina dopravována. [5, 7]



Obr. 4 Schéma sací a výtlačné výšky [14]

## 3.2 Rozdělení čerpadel

**Z pohledu fyzikálního principu lze rozdělit čerpadla do třech skupin:**

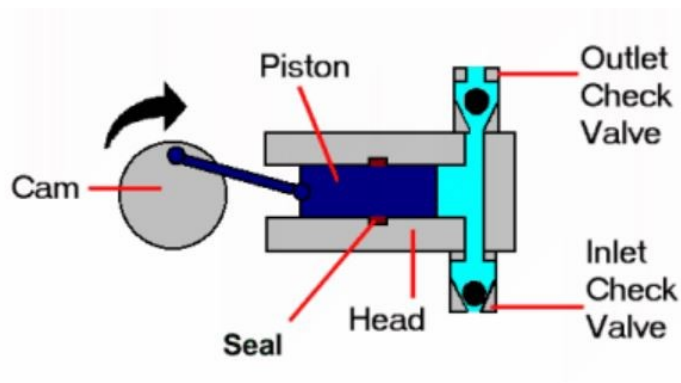
- Hydrostatická (objemová) čerpadla;
  - Pístová;
  - Rotační pístová;
  - Zubová;
  - Šroubová;
  - Lamelová;
  - Membránová;
- Hydrodynamická (rychlostní) čerpadla;
  - Radiální (odstředivá);
  - Axiální (vrtulová);
- Speciální typy;
  - Vřetenové;
  - Hadicové;
  - Monžiky;
  - Mamutky;

## 3.3 Hydrostatická (objemová) čerpadla

Tento druh čerpadel je také nazýván samonasávacím objemovým čerpadlem, což znamená, že komora čerpadla nemusí být před spuštěním naplněna kapalinou. Dochází k přímé přeměně mechanické energie na tlakovou, neboli na potenciální. Princip těchto čerpadel je založen na výtlačku kapaliny pomocí mechanické energie. U tohoto typu čerpadel nelze měnit na výtlačném potrubí objem čerpané kapaliny redukčním prvkem, např. ventilem. proto jsou označována jako čerpadla s tvrdou charakteristikou. [5, 6, 10]

### 3.3.1 Pístová čerpadla

Tato čerpadla jsou schopna zvládnout tlak až 200 MPa a jsou používána pro čerpání menších objemů do vyšších dopravních výšek a pracují s účinností až 95 %. Ve válcové komoře pístového čerpadla se pohybuje píst osazen těsnícími kroužky, který zcela vyplňuje prostor pracovní komory. Píst se pohybuje v jedné ose a vykonává dva pohyby. [6]



Obr. 5 Pístové čerpadlo [15]

Při prvním pohybu se sací ventil otevře a výtlačný naopak zavře. V tu chvíli se válcová komora napustí kapalinou. Druhý pohyb naopak sací ventil uzavře a otevře výtlačný. Tímto pohybem je kapalina vytlačována z pracovní komory do potrubí. [6]

Zvláštním typem těchto čerpadel jsou **čerpadla plunžrová**. Tento typ má pevně umístěné těsnící kroužky ucpávky na dně válce a píst zcela nevyplňuje celý prostor válce. Tyto plunžrová čerpadla jsou vhodná pro větší tlaky, až v řádu stovek MPa. [6]

### 3.3.2 Čerpadla s rotujícími písty

Konstrukce se skládá z oválné pracovní komory, ve které rotují dva písty. Tyto písty se dotýkají stěn komory a navzájem se odvalují což zajišťuje utěsnění sání a výtlače. Tento typ pracuje s účinností kolem 90 %. Používá se pro velmi nízké tlaky, ty se pohybují v rozmezí 1,0 až 1.5 MPa. V praxi se objemový průtok pohybuje okolo 1 l/s.

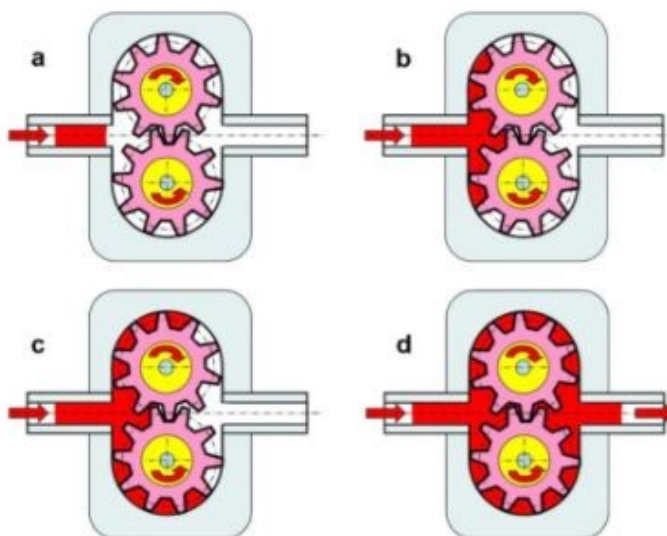


Obr. 6 Čerpadlo s rotujícími písty [16]

### 3.3.3 Zubová čerpadla

Zubová čerpadla jsou principem hodně podobná jako čerpadla s rotujícími písty. Rozdílem je, že namísto rotujících pístů jsou zde ve skříni rotující ozubená kola. Tyto kola do sebe navzájem zapadají a těsní. Mezi ozubenými koly a stěnou skříně se vytváří prázdné kapsy, které jsou plněny přepravovanou kapalinou ze sací části. Tyto kapsy jsou po obvodu vnitřní

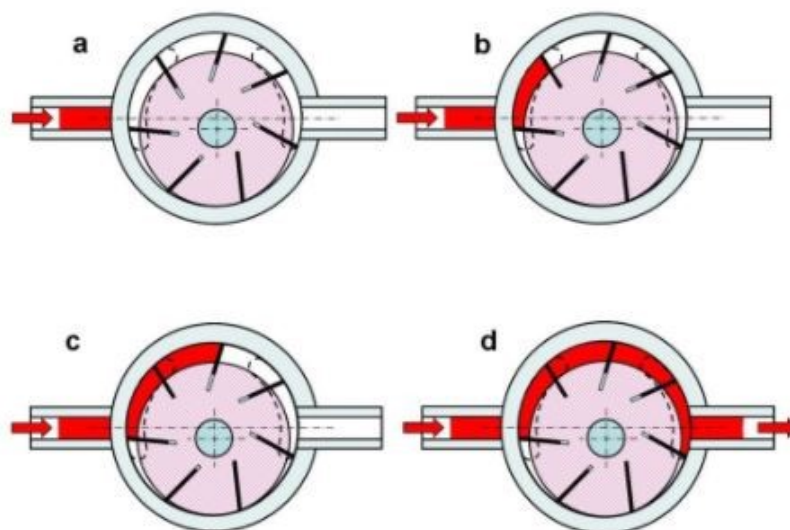
strany skříně přenášeny do výtlačné části. Tyto čerpadla jsou používána jen pro dopravu čistých kapalin bez mechanických nečistot. Zubová čerpadla pracují s výtlačným tlakem okolo 20 MPa. [6]



Obr. 7 Zubové čerpadlo [17]

### 3.3.4 Lamelová čerpadla

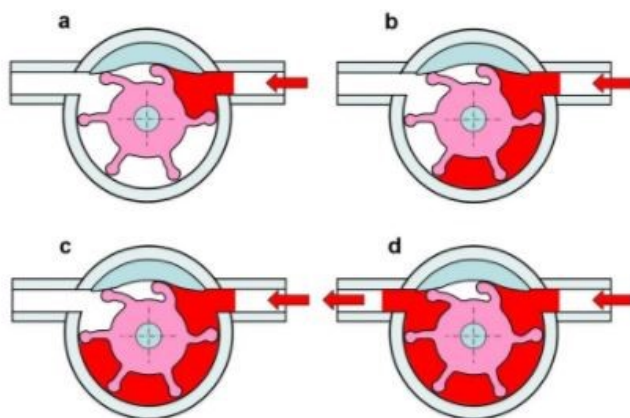
Přepravovaná kapalina se dostává do vytlačovací části komory v prostoru mezi pohyblivou lamelou a vnitřní stranou skříně. Díky excentrickému uložení rotoru vzniká místo pro přepravu kapaliny. Posuvné lamely zajišťují utěsnění nasávací části komory od výtlačné části. Využití najdeme např. u posilovače řízení osobních automobilů. [6]



Obr. 8 Lamelové čerpadlo [17]

### 3.3.5 Čerpadla s pružným rotorem

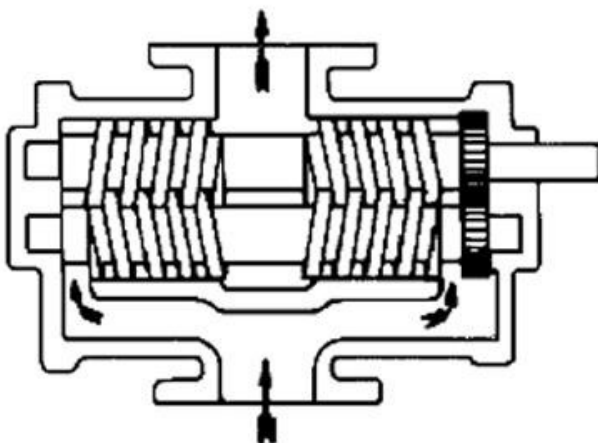
Čerpadla s pružným rotorem fungují na podobném principu jako čerpadla v předchozích případech, kde lopatky rotují v pracovní komoře. Rozdílem je, že lopatky rotoru jsou pružné. Z tohoto důvodu jsou tyto čerpadla schopná přepravovat i znečištěné kapaliny s velkým obsahem mechanických nečistot. V praxi se s nimi setkáme u čerpání suspenzí nebo u viskózních látek. [6]



Obr. 9 Čerpadlo s pružným rotorem [17]

### 3.3.6 Šroubová čerpadla

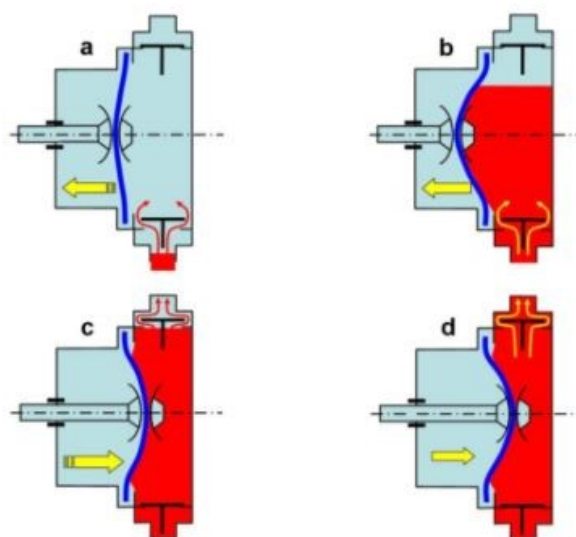
Šroubové čerpadlo je většinou tvořeno podélnou válcovou skříní a otáčejícím se vřetenem, které slouží jako rotor. Kapalina je dopravována v mezerách mezi závity vřetene a skříní čerpadla. Šroubová čerpadla mohou být i vícevřetenová. Nejvhodnější využití najdeme u čerpání abrazivních, viskózních a agresivních kapalin. Výtlačný tlak je do cca 2 MPa a teploty čerpacího media můžou dosahovat až 300 °C. Nejpoužívanější je třívřetenové čerpadlo, používané hlavně k přepravě oleje u převodovky. [6]



Obr. 10 Šroubové čerpadlo [18]

### 3.3.7 Membránová čerpadla

Založena na průhybu membrány kruhového průřezu, obvykle tvořenou z ocelového plechu nebo technické pryže. Nasávání a vytlačování kapaliny je zajištěno změnou objemu pracovní komory, kterou vyvolává právě pružná membrána připevněná na pohybující se píst. Jsou vhodná pro čerpání menších objemů čistých agresivních kapalin pod tlakem do 0,5 MPa. [6]



Obr. 11 Membránové čerpadlo [17]

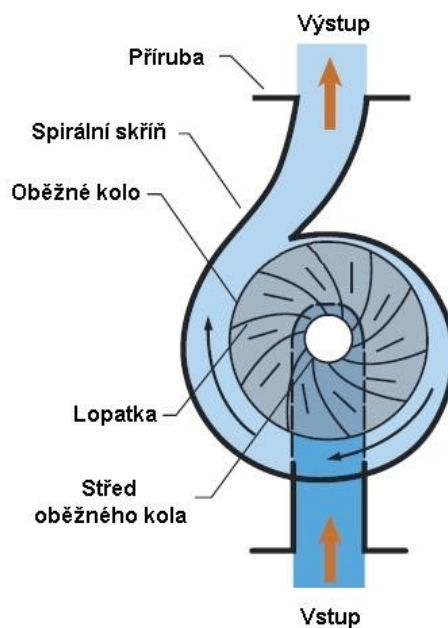
### 3.4 Hydrodynamická (rychlostní) čerpadla

U těchto čerpadel dochází k nepřímé přeměně energie, a to z mechanické na tlakovou, za pomoci kinetické. Zatímco u hydrostatických čerpadel jsme se bavili o tvrdé charakteristice, tak hydrodynamická čerpadla označujeme jako čerpadla s měkkou charakteristikou, což znamená, že na konci výtlačného potrubí lze redukovat množství přepravované kapaliny ventilem nebo jiným redukčním prvkem. [3, 5]

#### 3.4.1 Radiální (odstředivá) čerpadla

Jak už název napovídá, tyto čerpadla využívají odstředivé síly k přepravě kapaliny. Energie je kapalině dodávána oběžným kolem, které se skládá z kruhového disku se zakřivenými lopatkami. Pracovní skříň čerpadla, neboli stator, má tvar spirály. Sací otvor je umístěn v axiální ose hřídele oběžného kola a osa výtlačného otvoru je v radiálním směru na obvodu pracovní skříně čerpadla. [11]

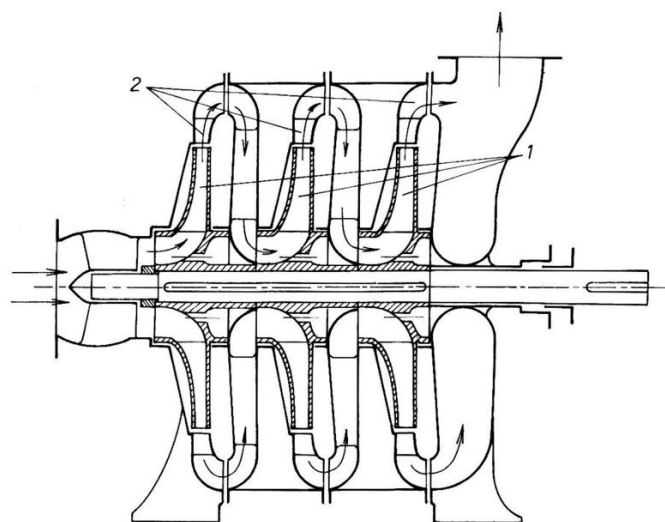




Obr. 12 Odstředivé čerpadlo [19]

Kapalina v pracovní skříni získává kinetickou energii od oběžného kola a ta ji tlačí ke stěně skříně čerpadla. Z důvodu vysokých otáček vzniká přetlak na obvodu oběžného kola a podtlak v ose hřídele. Dále se kapalina dostává do spirálové skříně, kde se zvětšením průtočného průměru snižuje rychlost (kinetická energie) a zároveň zvyšuje tlak (tlaková energie). Odstředivá čerpadla fungují na principu Bernoulliho rovnice. [11]

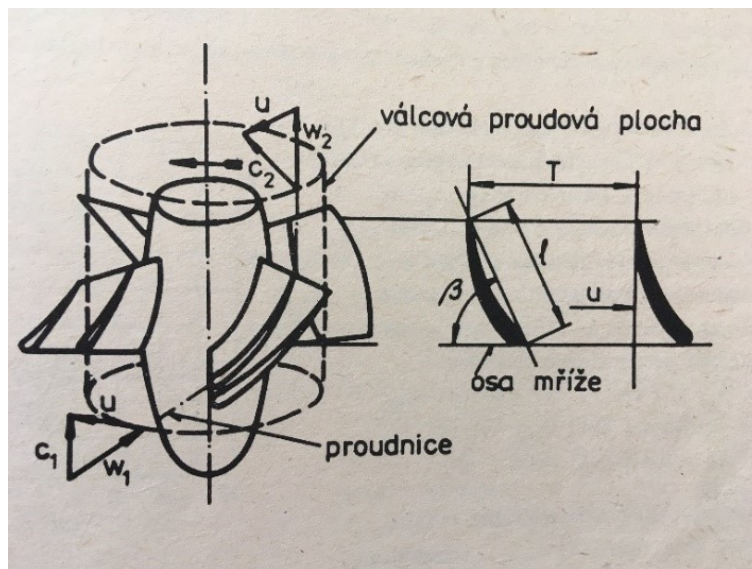
Před spuštěním je nutno jak čerpadlo, tak i nasávací potrubí zavodnit. U vícestupňových odstředivých čerpadel (více oběžných kol) dosahuje výtlačný tlak až několik desítek MPa. Kapalina je čerpána nepřetržitě a bez vzniku rázů. Tento typ čerpadel je nejrozšířenějším typem čerpadel díky jednoduché konstrukci a malým provozním nákladům. [11]



Obr. 13 Vícestupňové odstředivé čerpadlo [20]

### 3.4.2 Axiální (vrtulová) čerpadla

Oběžné kolo má tvar vrtule, proto se nazývají také vrtulová čerpadla. Na oběžném kole jsou umístěny dvě až čtyři lopatky, jejichž profil připomíná křídla, popř. vrtule letadel. Díky vhodnému zakřivení lopatek vzniká na jedné straně podtlak (sání) a na druhé přetlak (výtlak). Vlivem pohybu těchto lopatek je dopravovaná kapalina urychlena a vytlačována. Uplatnění se najde v oblastech s menší měrnou energií, ale s největším průtokem kapalin. V praxi se tato čerpadla používají např. v systému čištění a úpravy vod. [3]



Obr. 14 Vrtulové čerpadlo [3]

## 4 OPOTŘEBENÍ

Tato kapitola byla vytvořena na základě literatury [1, 9, 10, 12]

### 4.1 Úvod do opotřebení

Opotřebení znamená trvalý úbytek materiálu z funkčních ploch při jejich pohybu nebo při pohybu média. Tento jev tedy nastává v místě, kde dochází ke styku dvou ploch, a tedy i ke tření. [9]

#### 4.1.1 Základní pojmy

Bavíme se o pojmech, které jsou uvedené v definici opotřebení, a které budeme při analýze opotřebení potřebovat. Většinou jsou to faktory, které mají vliv na průběh opotřebení. [9]

**Vzájemné působení:** Tím jsou na mysli všechny účinky, které se projevují u stýkajících se součástí a media mezi nimi při relativním pohybu. [9]

**Nežádoucí změny:** Většinou se jedná o změny zhoršující kvalitu povrchu a zároveň snižující jeho funkčnost nebo také životnost. (Výjimkou je záběh dvou funkčních povrchů, kde se tyto povrchy při svojí funkci přizpůsobí a dosáhnou potřebné kvality, např. snížení drsnosti.). [9]

**Oddělování nebo přemísťování částic:** Zde se jedná hlavně o oddělování částic z funkčního povrchu, nebo také přenos částic z jednoho funkčního povrchu na druhý vyvolaný plastickou deformací materiálu. [9]

**Mechanické účinky:** Mají velký význam při opotřebení. Většinou souvisí s vedlejšími účinky (elektrochemickými, elektrickými a korozními). [9]

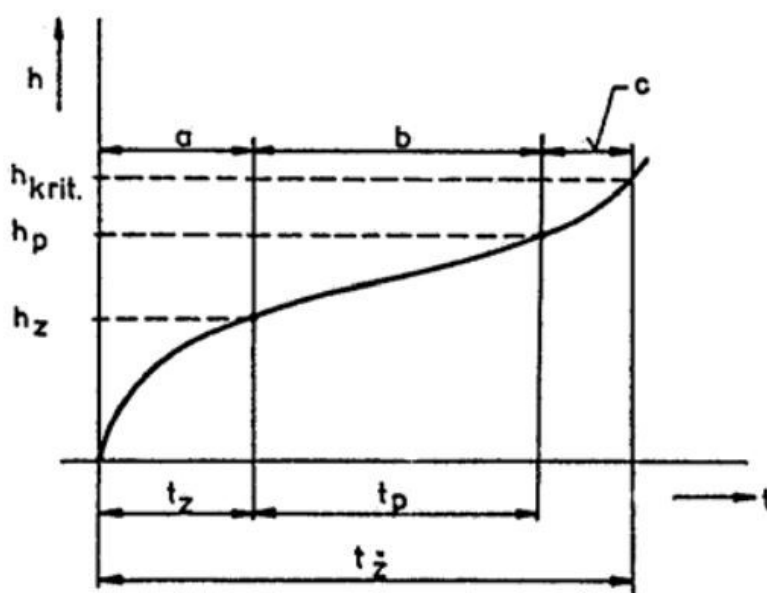
#### 4.1.2 Časový průběh opotřebení

Každé opotřebení má svůj časový průběh, ze kterého vyplývá, že rychlost tohoto procesu je odlišná pro fáze technické životnosti sledovaného objektu. Typickým průběhem opotřebení je zjednodušený model uvedený na obr 15. [9]

**Záběh** – zde se vyrovnávají mikronerovnosti a vyrovnává se drsnost povrchu.

**Ustálený děj** – tady dochází k oděru, úbytku materiálu a je lineární funkcí času. Usiluje se o to, aby tento ustálený děj probíhal co nejdelší dobu a s minimálním úbytkem.

**Progresivní růst** – vytváří se náhlý růst opotřebení, při kterém je nutno danou součást vyměnit, opravit, renovovat nebo regenerovat.



Obr. 15 Časový průběh opotřebení: a – záběh, b – provozní nasazení, c – doběh (havárie), h – hodnota opotřebení, h<sub>krit.</sub> – kritická hodnota opotřebení, h<sub>z</sub> – záběhová hodnota opotřebení [9]

#### 4.1.3 Mechanismy a základní druhy opotřebení

Opotřebení je často obtížné klasifikovat; avšak identifikace typu je klíčovým faktorem.

Ve strojním zařízení se může nalézt několik typů opotřebení:

- Adhezivní opotřebení;
- Abrazivní opotřebení;
- Erozivní opotřebení;
- Korozivní opotřebení;
- Únavové opotřebení;
- Kavitační opotřebení;
- Vibrační opotřebení;

## 4.2 Adhezivní opotřebení

U adhezivního opotřebení dochází k oddělování a přenosu materiálu mezi dvěma navzájem se dotýkajícími plochami, což je do určité míry součástí veškerého opotřebení, a díky vzájemnému pohybu funkčních ploch nastává porušování povrchových vrstev materiálu a tvoří se takzvané mikrosváry. Tyto mikrosváry vznikají díky plastické deformaci, která je zapříčiněna díky působení velkých sil a velkému množství kontaktních plošek. [1,9,12]

Nejlepším řešením, k docílení výrazného snížení opotřebení, je vhodné mazání funkčních ploch. Mazivo odděluje kontaktní povrchy a snižuje tak lokální napětí a působí jako výborná chemická ochrana povrchu před vzdušným kyslíkem který způsobuje korozi. Adhezivní opotřebení se vyskytuje v praxi např. při kontaktu kolo – kolejnice, kluzná ložiska, čepy atd. [1,9,12]



Obr. 16 Adhezivní opotřebení [12]

## 4.3 Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení je v praxi jedno z nejčastějších typů opotřebení a je charakteristické oddělováním částic od funkční plochy díky působení jiného, tvrdšího materiálu. Kontaktní plochy se dotýkají jen v několika málo vyvýšených bodech. Jelikož se povrchy pohybují tangenciálně, vede tato deformace k mikroskopickým drážkám, tudíž typickým poškozením jsou rýhy. Ve skutečnosti se abrazivní opotřebení hodně podobá broušení. Rýhovaný vzorek vzniklý tímto druhem opotřebení je znázorněn na obr.17. Velikost těchto mikroskopických rýh je závislá na poměru tvrdosti abraziva a materiálu funkční plochy. [1,9,12]



Obr. 17 Abrasivní opotřebení [12]

V praxi se tento typ opotřebení vyskytuje např. zmenšením tloušťky stěny trubky dopravující písek (velmi silné abrazivo) nebo opotřebením zubů lžice rypadel apod.

#### **4.4 Erozivní opotřebení**

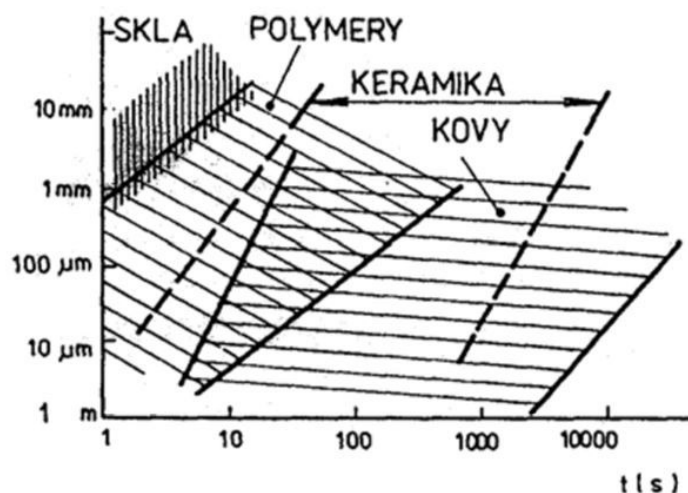
Je způsobeno vzájemným působením funkčního povrchu a dopadem částic obsažených v proudícím médiu. Porušení materiálu bývá nerovnoměrné. K vytlačení nebo oddělení materiálu z funkční plochy dochází tehdy, pokud má částice dostatečnou energii a vhodný úhel při dopadu. [1,9,12]

Částice mohou být unášeny dvěma typy, prvním je částice unášena proudem plynu (ventilátory, vzduchotechnika) a druhým je částice unášena kapalinou (turbíny, čerpadla). Důležitými faktory jsou např. chemické složení proudícího media, velikost, tvar a tvrdost částice. V momentě, kdy modul pružnosti funkční plochy a dopadající částice je srovnatelný, dochází ke vzniku největší intenzity opotřebení. Tato vlastnost se dá využít např. u otryskávání ocelových konstrukcí. [1,9,12]



Obr. 18 Erozivní opotřebení [12]

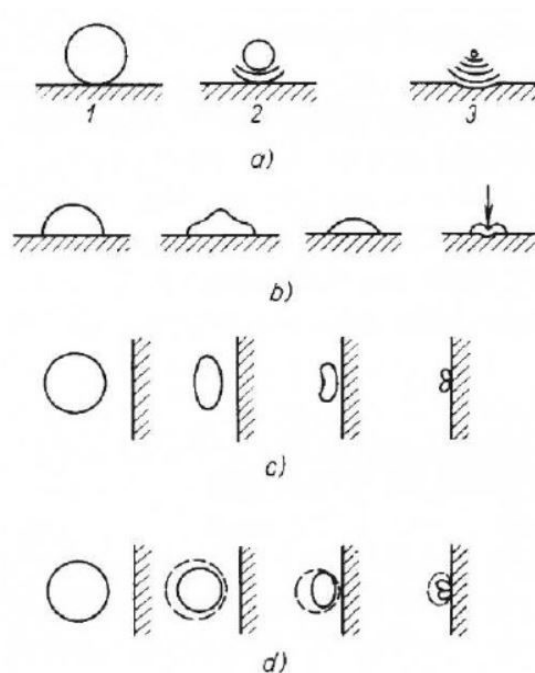
Z praxe je známo, že materiály s měkkým povrchem lépe snášejí dopad částic pod velkým úhlem a materiály kalené (tvrdé povrchy) odolávají lépe částicím, které dopadávají pod malým úhlem. Na obrázku č.19 je zobrazena odolnost různých materiálů proti dešťovým kapkám. [1,9,12]



Obr. 19 Poměrná odolnost proti erozi dešťovými kapkami[9]

#### 4.5 Kavitační opotřebení

Proces kavitace je možno považovat za jeden z nejsložitějších a velmi intenzivních degradačních procesů. Kavítace probíhá v důsledku tvorby dutin neboli „bublin“ v kapalině. Tento jev se sleduje u proudícího média v místech, kde je zvýšená rychlost proudění, což má za následek snížení tlaku v kapalině. Vzniklé kavitační bubliny bývají většinou vyplněné párou (plynem). Tyto bubliny se zachytávají na povrchu kovu a zanikají implozí. [1,9,10,12]



Obr. 20 Zánik kaveren-schéma [21]

Popis k obr. č. 20:

- a) Imploze sférické kavitační bubliny.
- b) Imploze kavitační bubliny na povrchu tělesa.
- c) Imploze nesférické kavitační bubliny vlivem asymetričnosti proudění kolem povrchu tělesa a vlivem gradientu tlaku.
- d) Imploze kavitační bubliny při vytvoření lokálního mikroproudu.

Ve chvíli zániku této kavitační bubliny dochází uvnitř kapaliny ke vzniku rázové vlny, která má ničivé účinky na povrch materiálu. Důsledkem toho vznikají velmi malé oblasti, kde tlak kapaliny nepřesahuje řád tisíce MPa a kde teploty dosahují až stovek stupňů. [1,9,10,12]

Kavitace může vznikat na lopatkách lodních šroubů, na lopatkách turbín, u odstředivých čerpadel, v hydraulických lisech, u vstřikovacích trysek, na vodou chlazených vložkách válců vznětových motorů, v míchacích zařízeních, u kluzných ložisek, ucpávek apod. [1,9,10,12]





Obr. 21 Kavitační opotřebení [12]

V lékařství se kavitace používá na odstraňování zubního kamene, rozrušování ledvinových kamenů pomocí rázových vln nebo při ultrazvukové liposukci. Kavitace se také používá při odstranění nečistot a maziv z povrchu součástí při čištění ultrazvukem. [1,9,10,12]

#### 4.6 Únavové opotřebení

Tento typ opotřebení vzniká při opakujícím se proměnném namáhání v povrchové vrstvě funkční plochy, kde se neustálou kumulací poruch tvoří oblasti mikrotrhlin. Ty se pak dále rozšiřují a po určité době dochází ke spojení a vzniku rozsáhlejších oblastí únavového poškození. Příčinou vzniku tohoto opotřebení jsou cyklická namáhání. Nejčastější případy únavového opotřebení jsou u valivých ložisek, ozubených kol, kolejnic, ventilů a dalších zařízení, která přichází do styku s vibracemi nebo silnými rázy (pneumatické kladivo, vrtné tyče apod.). [9,12]



Obr. 22 Únavové opotřebení [22]

## 4.7 Vibrační opotřebení

Je charakterizované poškozováním povrchu materiálu vzájemným kmitavým tangenciálním posuvem dvou funkčních povrchů při normálním zatížení. V praxi jsou amplitudy tohoto opotřebení velmi malé a pohybují se v rozmezí 0,1 až 100  $\mu\text{m}$ . V praxi dochází k vibračnímu opotřebení hlavně u pohyblivých uložení, které přenáší vlastní kmity nebo vytvořené cizím zdrojem. Nejčastěji se jedná např. o valivá ložiska, čepy, hřídele a spojky. Často se setkáváme i s poruchami nalisovaných spojů. Jsou ale i případy, kdy se vibrační opotřebení vyskytuje i u nových strojů, které jsou přepravované na velkou vzdálenost. Tady poškození vzniká buď rázy vzniklémi od přepravy, anebo chodem lodního motoru. [1,9,12]



Obr. 23 Vibrační opotřebení [12]

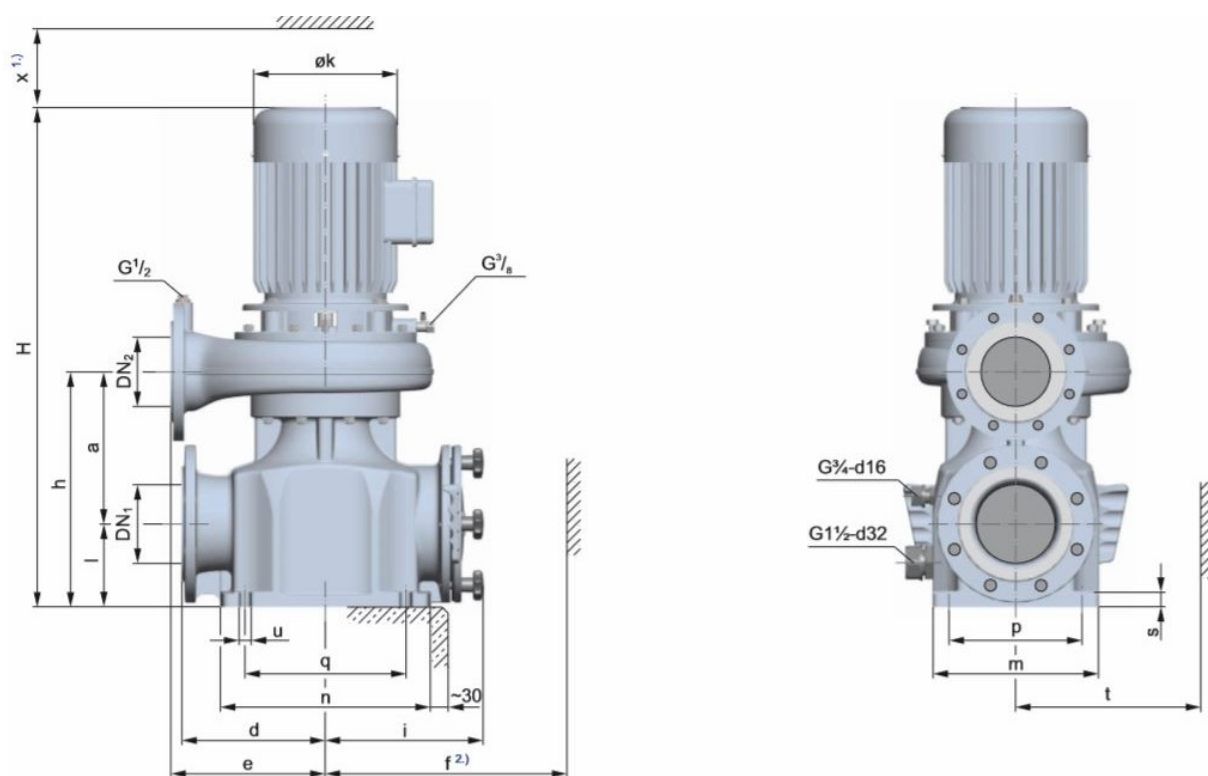
## 5 DIAGNOSTIKOVANÁ ČERPADLA

Tato kapitola byla vytvořena na základě literatury poskytnuté z Interních zdrojů firmou provozující tyto čerpadla.

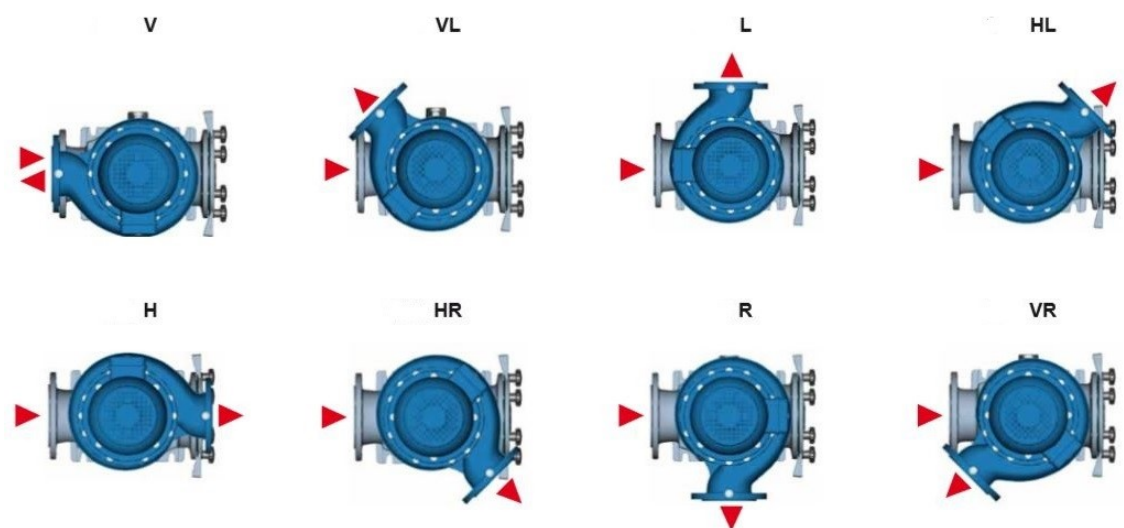
### 5.1 UNIBAD

Jedná se o cirkulační čerpadlo značky HERBORNER, které je používáno k přečerpávání a filtrování bazénové vody, čisté vody, termálních roztoků, mořské vody, užitkové vody a jiných kapalin znečištěných hrubými částicemi.

Jednotlivá čerpadla jsou dodávána ve vertikální konstrukci s „motorem nahoře“. Obsahují dynamicky vyvážená oběžná kola zajišťující chod bez vibrací a přispívající k dlouhé životnosti čerpadla. Používají se otevřená a uzavřená vícekanálová kola a šroubové lopatky.



Obr. 24 Rozměry čerpadla UNIBAD [23]



Obr. 25 Poloha hrdel UNIBAD [23]

### 5.1.1 Údaje motoru

Povrchově chlazený třífázový motor s klecovým rotorem. Chlazení motoru je zajištěno předáváním tepla v chladících žebrech do okolní atmosféry.

Tab. 1 Údaje motoru výrobní řady X

<b>Provedení</b>	<b>IM B5</b>
<b>Zapojení motoru</b>	Specifické dle výrobce
<b>Druh krytí</b>	IP 55
<b>Počet otáček</b>	1500 (1800) min <sup>-1</sup>
<b>Kmitočet</b>	50 (60) Hz
<b>Spínání ≤ 2,2 kW</b>	230 Δ / 400 Y (460 Y) V
<b>Spínání ≥ 3,0 kW</b>	400 Δ / 690 Y (460 Δ) V
<b>Třída izolace</b>	F

### 5.1.2 Všeobecné údaje

- Rozsah teploty médií od -5 °C do +60 °C.
- Rozsah teploty okolí od -5 °C do +40 °C.
- Hustota čerpaného media max. 1000 kg/m<sup>3</sup>.
- Viskozita čerpaného media max. 1 mm<sup>2</sup>/s (1cST).
- Regulace frekvence čerpadel v závislosti na provozních podmínkách – od 30 do 50 Hz (400 V) a od 30 do 60 Hz (460 V).
- Výkonová zkouška podle DIN EN ISO 9906, třída 2.

### 5.1.3 Údržba / čištění

Za provozu je čerpadlo vystaveno vibracím, které mohou povolit šroubové spoje a svěrné spoje. Proto je nutno kontrolovat u čerpadla v pravidelných intervalech (při jednosměnném provozu 6 měsíců), zda se spoje neuvolnily. Doporučuje se pravidelně odstraňovat prach a nečistoty.

Kuličková ložiska jsou z výroby promazána tukem. Tyto ložiska s počtem otáček – 1500 (1800)  $\text{min}^{-1}$  po 20 000 hodinách provozu, nejpozději však po 3 letech, je nutno znovu promazat nebo v případě potřeby vyměnit. Podle výrobce motoru existuje standardní domazávací zařízení u motoru s otáčkami 1500 (1800)  $\text{min}^{-1}$ .

- Od 1,1 kW pro obě ložiska
- Od 1,1 kW pro kuličkové ložisko (strana pohonu) a od 7,5 kW pro obě ložiska

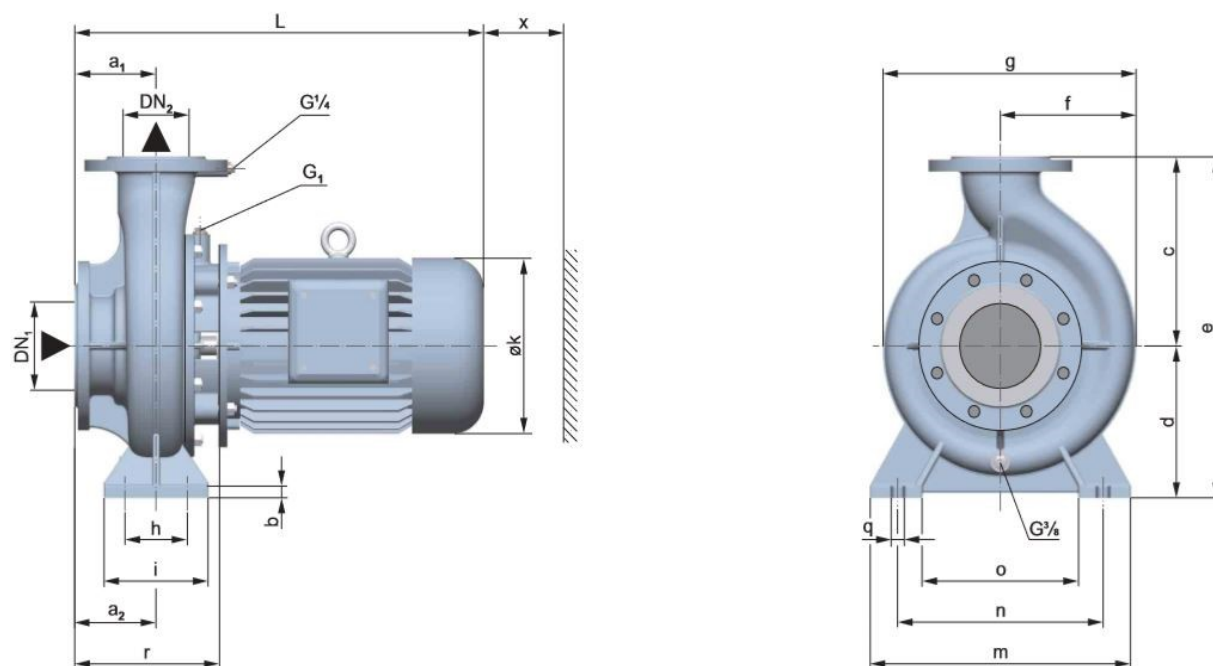
Motor [kW]	Valivé ložisko (strana pohonu)		Valivé ložisko (ne strana pohonu)	
	Lhůta mazání [h]	Množství tuku [g]	Lhůta mazání [h]	Množství tuku [g]
1,1/1,3	5000	7	10000	3
1,5/1,8	5000	7	10000	3
2,2/2,6	5000	10	10000	5
3,0/3,6	5000	10	10000	5
4,0/4,8	5000	10	10000	5
5,5/6,6	4000	16	8000	8
7,5/9,0	4000	16	8000	8
11,0/13,2	3500	22	7000	11
15,0/18,0	3500	22	7000	11
18,5/22,2	3000	32	6000	13
22,0/26,4	3000	32	6000	13
30,0/36,0	3000	40	6000	18
37,0/44,4	3000	50	6000	20
45,0/54,0	3000	50	6000	20
55,0/66,0	3000	55	6000	25

Obr. 26 Lhůty mazání [23]

## 5.2 UNIBLOCK

Odstředivé čerpadlo UNIBLOCK od firmy HERBORNER je vhodné zejména k čerpání čisté vody, chladicí vody, vody z termálních a minerálních pramenů, mořské vody, louhů a olejů. Používá se u krytých i venkovních bazénů, zábavných center a aquaparků, topné a klimatizační techniky, kondenzačních zařízení, zařízení pro rekuperaci tepla a průmyslových zařízení.

Čerpadla se dodávají v různých instalacích – ve vodorovném umístění čerpadla a ve svislé pozici čerpadla s „motorem nahoře“. Jako oběžná kola jsou použita vícekanálová otevřená a uzavřená oběžná kola na čistá až lehce znečištěná čerpaná media.



Obr. 27 Rozměry čerpadla UNIBLOCK [23]

### 5.2.1 Údaje motoru

Čerpadlo pohání trojfázový motor s klecovým rotorem. Chlazení motoru je zajištěno předáváním tepla v chladících žebrech do okolního prostředí.

Tab. 2 Údaje motoru výrobní řady GF

<b>Provedení</b>	<b>IM B5</b>
<b>Zapojení motoru</b>	Specifické dle výrobce
<b>Druh krytí</b>	IP 55
<b>Počet otáček</b>	1500 (1800) min <sup>-1</sup> 3000 (3600) min <sup>-1</sup>
<b>Kmitočet</b>	50 (60) Hz
<b>Spínání ≤ 2,2 kW</b>	230 Δ / 400 Y (460 Y) V
<b>Spínání ≥ 3,0 kW</b>	400 Δ / 690 Y (460 Δ) V
<b>Třída izolace</b>	F

### 5.2.2 Všeobecné údaje

- Dolní mezní teplota média -5 °C.
- Horní mezní teplota média +120 °C (+40 °C – provedení vhodné do výbušného prostředí).
- Dolní mezní teplota prostředí -5 °C.
- Horní mezní teplota prostředí +40 °C.
- Hustota čerpaného média max. 1000 kg/m<sup>3</sup>.
- Kinematická viskozita čerpaného média max. 1 mm<sup>2</sup>/s (1cST).
- Výkonová zkouška podle DIN EN ISO 9906, třída 2.

### 5.2.3 Údržba / čištění

Za provozu je čerpadlo vystaveno vibracím, které mohou povolit šroubové spoje a svěrné spoje. Proto je nutno kontrolovat u čerpadla v pravidelných intervalech (při jednosměnném provozu 6 měsíců), zda se spoje neuvolnily. Doporučuje se pravidelně odstraňovat prach a nečistoty.

Kuličková ložiska jsou z výroby promazána tukem. Ložiska s počtem otáček – 1500 (1800) min<sup>-1</sup> po 20 000 hodinách provozu a ložiska s počtem otáček – 3000 (3600) min<sup>-1</sup> po 10 000 hodinách provozu, nejpozději však po 3 letech nutno znovu promazat nebo v případě potřeby vyměnit. Podle výrobce motoru existuje standardní domazávací zařízení u motoru s otáčkami 1500 (1800) min<sup>-1</sup>.

- Od 1,1 kW pro obě ložiska.
- Od 1,1 kW pro kuličkové ložisko (strana pohonu) a od 7,5 kW pro obě ložiska.

Domazávat nelze motory s:

- 0,55 (0,66) a 0,75(0,9) kW.
- Otáčkami 3000 (3600) min<sup>-1</sup>.

Motor [kW]	Valivé ložisko (strana pohonu)		Valivé ložisko (ne strana pohonu)	
	Lhůta mazání [h]	Množství tuku [g]	Lhůta mazání [h]	Množství tuku [g]
1,1/1,3	5000	7	10000	3
1,5/1,8	5000	7	10000	3
2,2/2,6	5000	10	10000	5
3,0/3,6	5000	10	10000	5
4,0/4,8	5000	10	10000	5
5,5/6,6	4000	16	8000	8
7,5/9,0	4000	16	8000	8
11,0/13,2	3500	22	7000	11
15,0/18,0	3500	22	7000	11
18,5/22,2	3000	32	6000	13
22,0/26,4	3000	32	6000	13
30,0/36,0	3000	40	6000	18
37,0/44,4	3000	50	6000	20
45,0/54,0	3000	50	6000	20
55,0/66,0	3000	55	6000	25

Obr. 28 Lhůty mazání [23]



## 6 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno dvakrát, první 7.12.2017 a druhé proběhlo 2.5.2018. Celkem bylo měřeno 13 čerpadel. Osm čerpadel bylo ve svislé konstrukci s motorem nahoře a dalších pět čerpadel bylo ve vodorovné konstrukci. Aplikovanou metodou technické diagnostiky byla vibrodiagnostika. Měřeny byly vibrace na obou ložiscích čerpadla a na jeho pracovní komoře, vždy ve třech směrech, a to horizontálním, vertikálním a axiálním. Číslování ložisek je prováděno od volného konce elektromotoru.

Vibrace měřených strojů byly naměřeny se zátěží v běžném provozu při konstantních otáčkách hřídele. Měření bylo provedeno dle normy ČSN ISO 10816-7, která se týká hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech. Konkrétně se tato norma zabývá hodnocením vibrací odstředivých čerpadel pro průmyslová použití, včetně měření na rotující hřídeli.

### Meze pásem hodnocení vibrací na nerotujících částech:

Tab. 3 Meze pásem vibrací na nerotujících částech odstředivých čerpadel o výkonu nad 1 kW

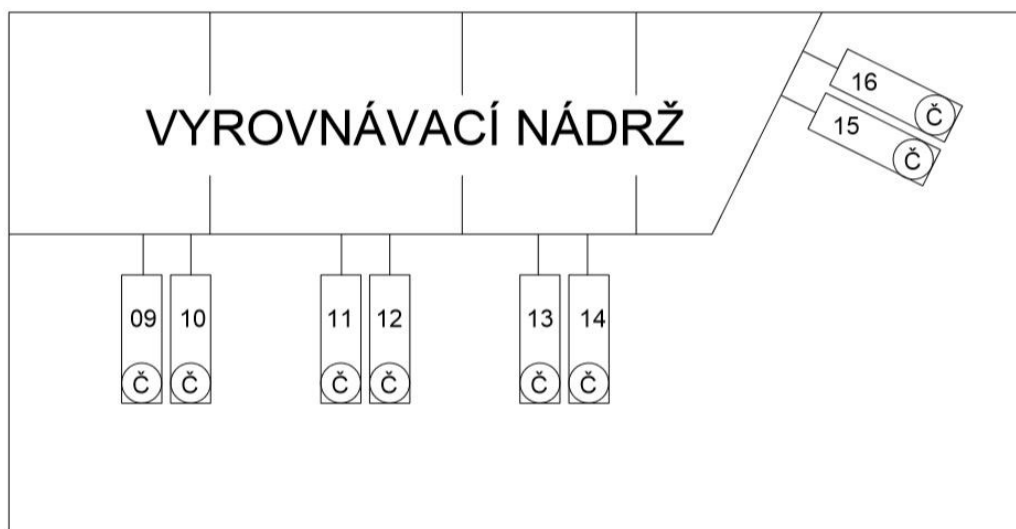
Pásmo	Popis	Mez rychlostí vibrací Efektivní hodnota mm/s			
		Kategorie I		Kategorie II	
		≤ 200 kW	> 200 kW	≤ 200 kW	> 200 kW
A	Nově přejímané stroje v doporučeném rozsahu	2,5	3,5	3,2	4,2
B	Neomezený dlouhodobý provoz v dovoleném pracovním rozsahu	4,0	5,0	5,1	6,1
C	Omezený provoz	6,6	7,6	8,5	9,5
D	Riziko poškození	> 6,6	> 7,6	> 8,5	> 9,5

- a) Kategorie I – čerpadla vyžadující vysokou úroveň spolehlivosti (čerpadla pro toxické nebo nebezpečné látky).
- b) Kategorie II – čerpadla pro všeobecné nebo méně důležité látky.

K měření vibrací byl použit vibrační analyzátor od firmy ADASH s kódovým označením A4410 a interním softwarem VA4 Pro. Jako snímač vibrací byla použita akcelerometrická sonda s magnetickým úchytem.

## 6.1 Vertikální filtrační čerpadla

Jedná se o cirkulační čerpadla s označením UNIBAD (viz. kapitola 5.1). Jejich médiem je voda a slouží k filtraci bazénové vody. K filtraci čtyř nádrží je použito osm čerpadel, přičemž k filtraci jedné nádrže jsou vždy použita dvě čerpadla s identickými parametry. Čerpadla jsou umístěna na betonovém podstavci ve vnitřních prostorech strojovny v relativně čistém a bezprašném prostředí.

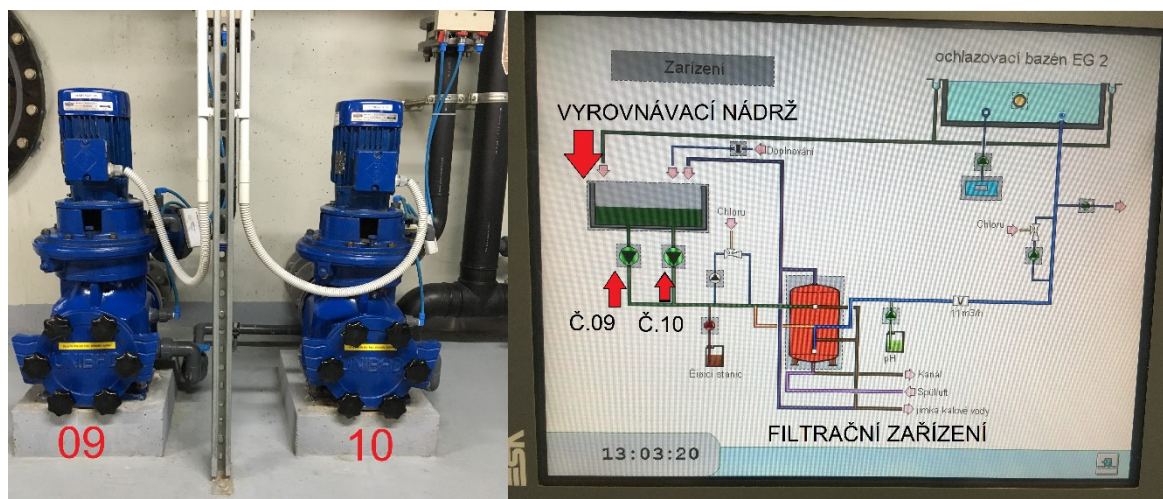


Obr. 29 Umístění čerpadel-schéma [14]

### Vysvětlení označení:

- 1) L1 – ložisko č.1 (dál od pracovní komory);
- 2) L2 – ložisko č.2 (blíže pracovní komoře);
- 3) PK – pracovní komora čerpadla;
- 4) PŘ – příruba;
- 5) V – vertikální směr;
- 6) H – horizontální směr;
- 7) A – axiální směr;
- 8) Č – čerpadlo;

## 6.1.1 UNIBAD 09/10



Obr. 30 Schéma filtračního systému [14]

Tab. 4 Technické údaje čerpadel UNIBAD 09 40-221/0114X-W2-VL, UNIBAD 10 40-221/0114X-W2-VL

<b>Světlost výtláčného hrdla DN</b>	40 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	22	<b>Poloha hrdel</b>	VL (viz. kapitola 5.1)
<b>Výkon motoru</b>	1,1 kW	<b>Průtok</b>	10 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	13,5 m
<b>Výrobní řada</b>	X = standart	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Provozní hodiny UNIBAD 09</b>	77904:21 (hh:mm)		
<b>Provozní hodiny UNIBAD 10</b>	77904:20 (hh:mm)		
<b>Interval údržby</b>	5000:00 (hh:mm)		

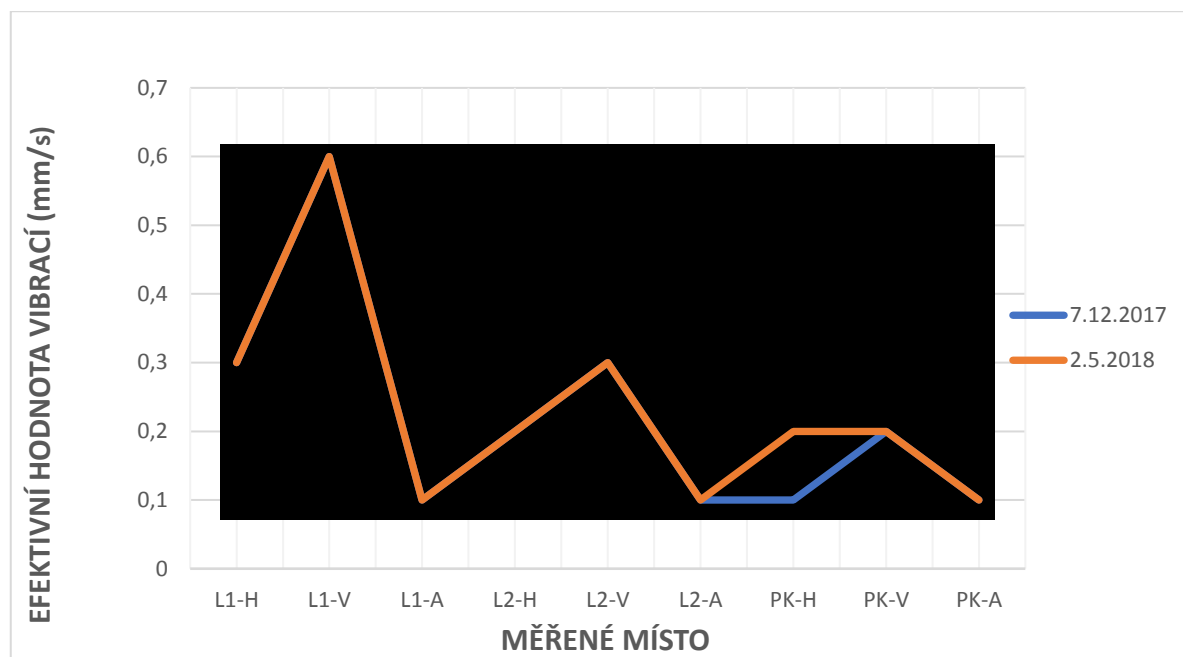
## UNIBAD 09

Vyznačení měřicích míst:



Obr. 31 Vyznačená měřicí místa [14]

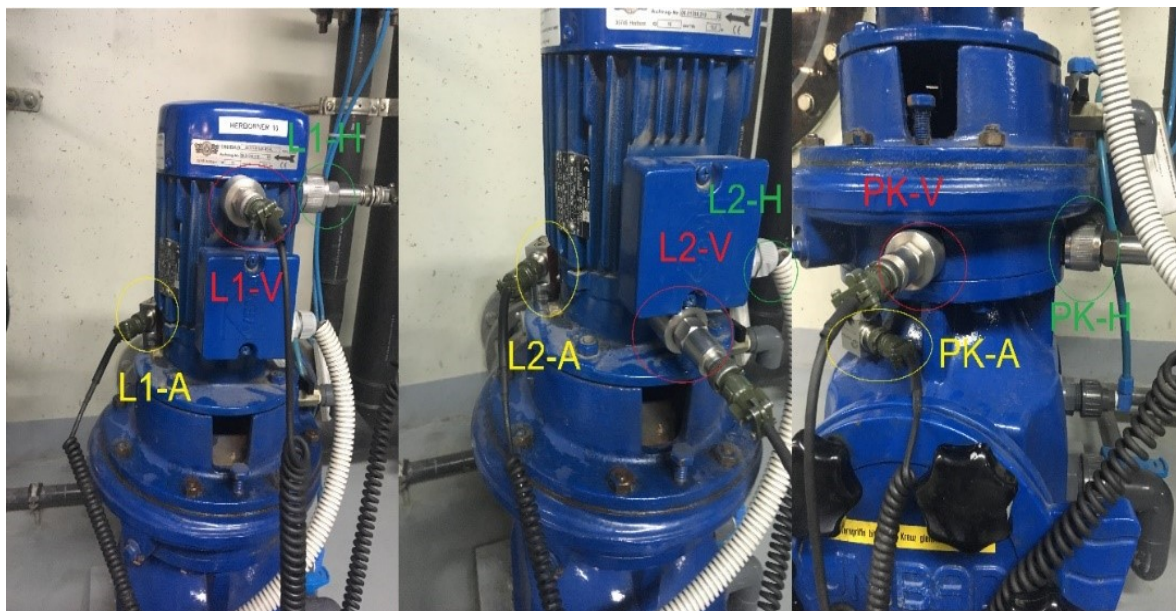
Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 1 Trend vývoje rychlosti vibrací

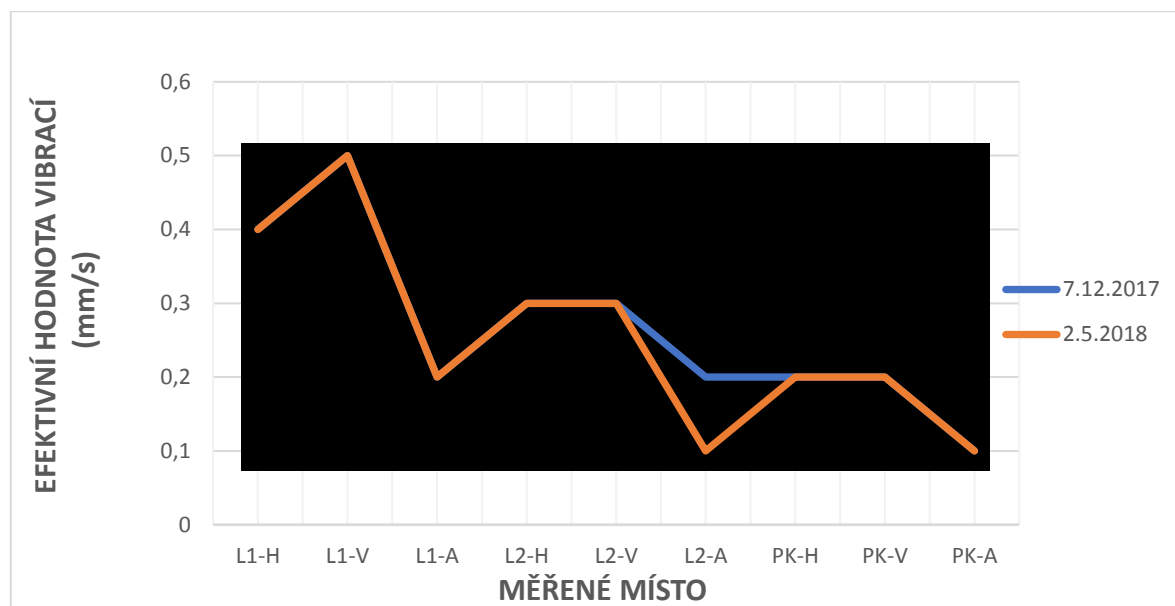
## UNIBAD 10

Vyznačení měřících míst:



Obr. 32 Vyznačená měřící místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 2 Trend vývoje rychlosti vibrací

### Vyhodnocení:

U čerpadel UNIBAD 09 a UNIBAD 10 je patrné, že všechny naměřené hodnoty vibrací jsou velmi malé a pohybují se v doporučených hodnotách. Podle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze A**.

Špičkové hodnoty u obou čerpadel neukazují na vznik mechanických závad. V rozboru frekvenčního spektra signálu rovněž nejsou žádné poruchové frekvence (např. frekvence ložiska), které by mohly omezovat chod čerpadla. Trendy vývoje rychlosti vibrací nenaznačují tendenci k nárůstu měřených hodnot.

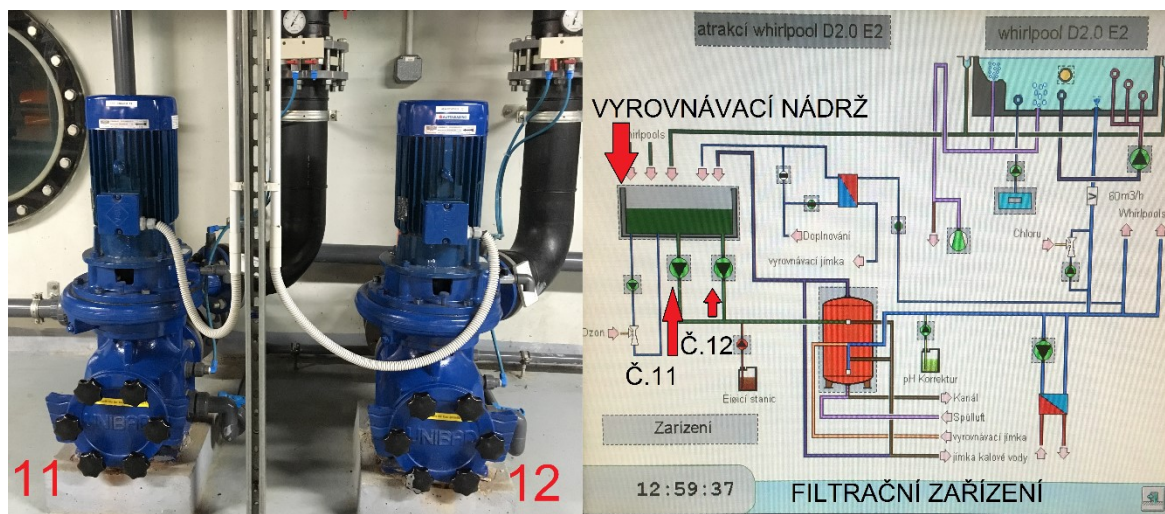
### Závěr:

Technický stav čerpadel UNIBAD 09 a UNIBAD 10 je vyhovující.



## 6.1.2 UNIBAD 11/12

Vyznačení měřicích míst:



Obr. 33 Schéma filtračního systému [14]

Tab. 5 Technické údaje čerpadel UNIBAD 11 65-243/0404X-W2-VL, UNIBAD 12 65-243/0404X-W2-VL

<b>Světlost výtláčného hrdla DN</b>	65 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	24	<b>Poloha hrdel</b>	VL (viz. kapitola 5.1)
<b>Výkon motoru</b>	4 kW	<b>Průtok</b>	51,5 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	17 m
<b>Výrobní řada</b>	X = standart	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Provozní hodiny UNIBAD 11</b>	77850:14 (hh:mm)		
<b>Provozní hodiny UNIBAD 12</b>	77840:37 (hh:mm)		
<b>Interval údržby</b>	5000:00 (hh:mm)		

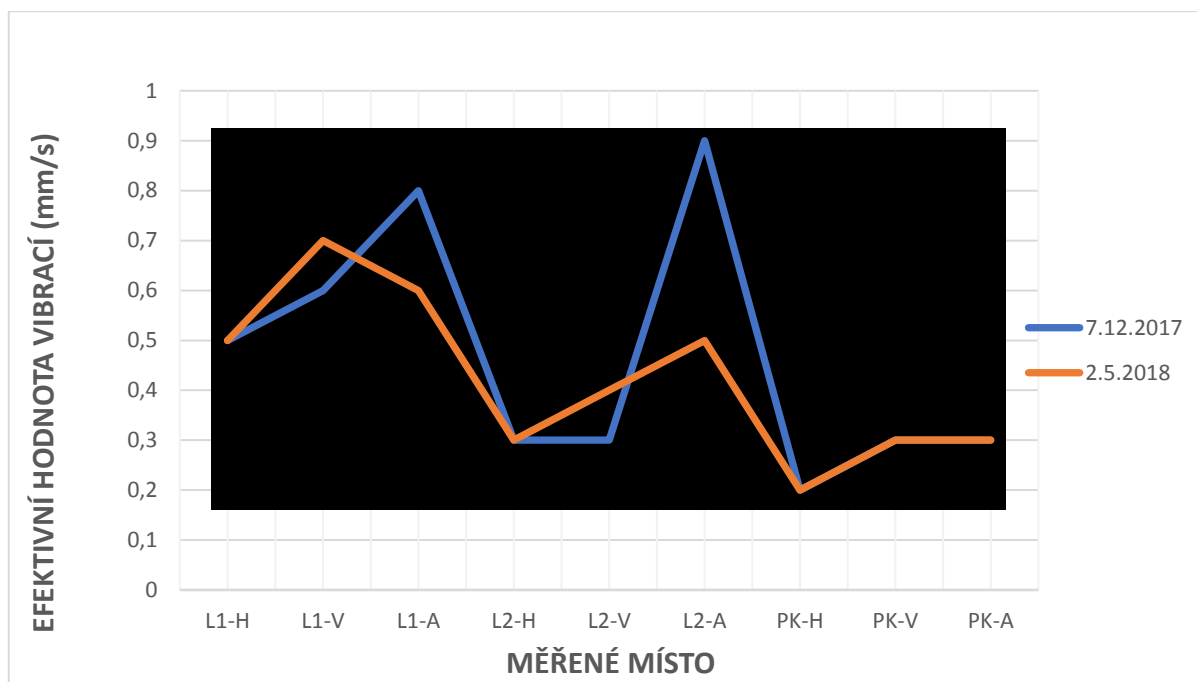
## UNIBAD 11

Vyznačení měřicích míst:



Obr. 34 Vyznačená měřicí místa [14]

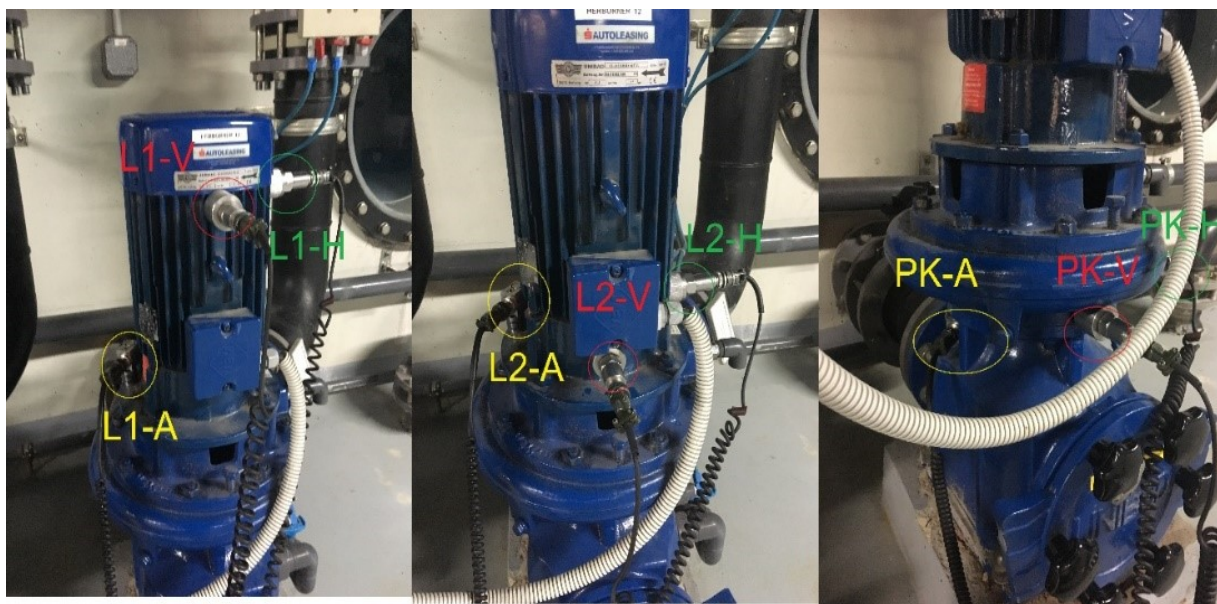
Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 3 Trend vývoje rychlosti vibrací

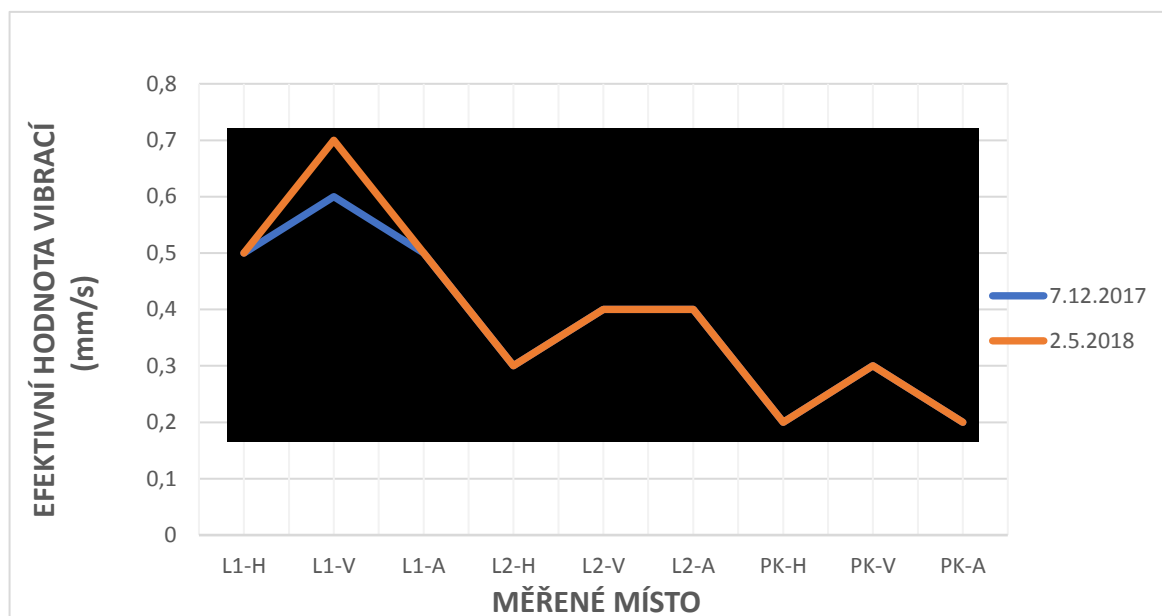
## UNIBAD 12

Vyznačení měřících míst:



Obr. 35 Vyznačená měřící místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 4 Trend vývoje rychlosti vibrací

### Vyhodnocení:

U čerpadel UNIBAD 11 a UNIBAD 12 je vidět, že všechny naměřené hodnoty vibrací jsou velmi malé a pohybují se v doporučených hodnotách. Podle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze B**.

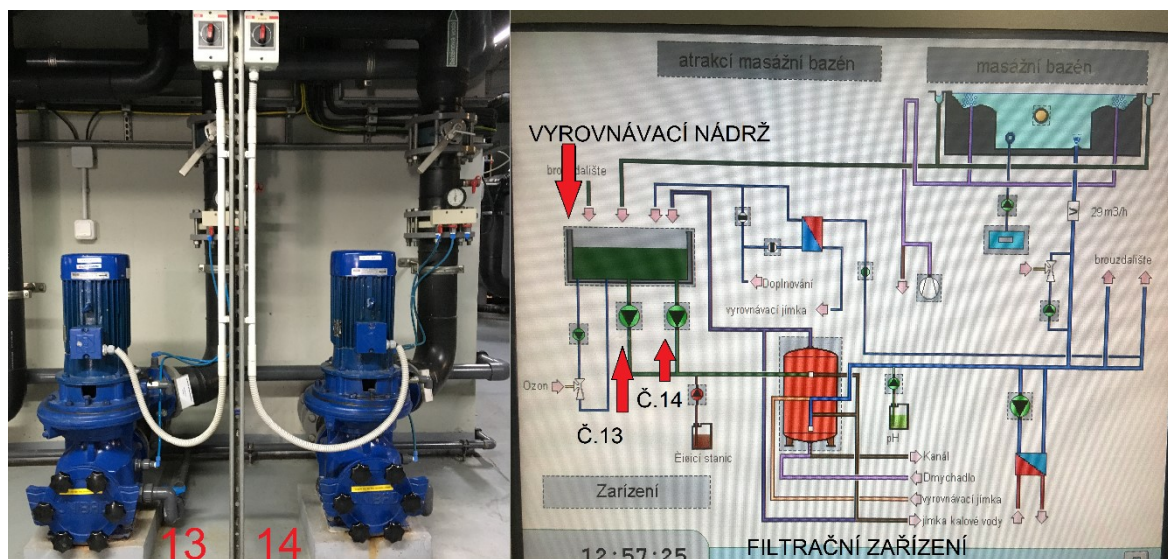
Špičkové hodnoty u obou čerpadel neukazují na vznik mechanických závad. V rozboru frekvenčního spektra signálu rovněž nejsou žádné poruchové frekvence (např. frekvence ložiska), které by mohly omezovat chod čerpadla. Trendy vývoje rychlosti vibrací nenaznačují tendenci k nárůstu měřených hodnot.

### Závěr:

Technický stav čerpadel UNIBAD 11 a UNIBAD 12 je vyhovující.



### 6.1.3 UNIBAD 13/14



Obr. 36 Schéma filtračního systému [14]

Tab. 6 Technické údaje čerpadel UNIBAD 13 65-243/0404X-W2-VL, UNIBAD 14 65-243/0404X-W2-VL

<b>Světlost výtlačného hrdla DN</b>	65 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	24	<b>Poloha hrdel</b>	VL (viz. kapitola 5.1)
<b>Výkon motoru</b>	4 kW	<b>Průtok</b>	57 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	15,5 m
<b>Výrobní řada</b>	X = standart	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Provozní hodiny UNIBAD 13</b>	77974:10 (hh:mm)		
<b>Provozní hodiny UNIBAD 14</b>	77969:08 (hh:mm)		
<b>Interval údržby</b>	5000:00 (hh:mm)		

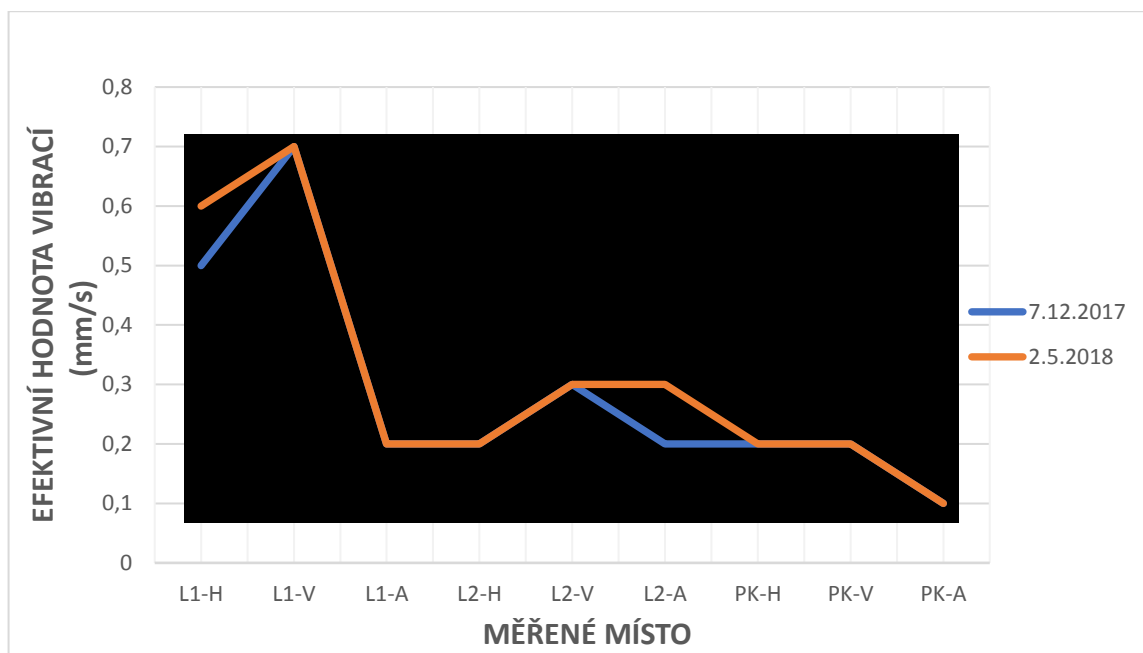
### UNIBAD 13

Vyznačení měřicích míst:



Obr. 37 Vyznačená měřicí místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 5 Trend vývoje rychlosti vibrací

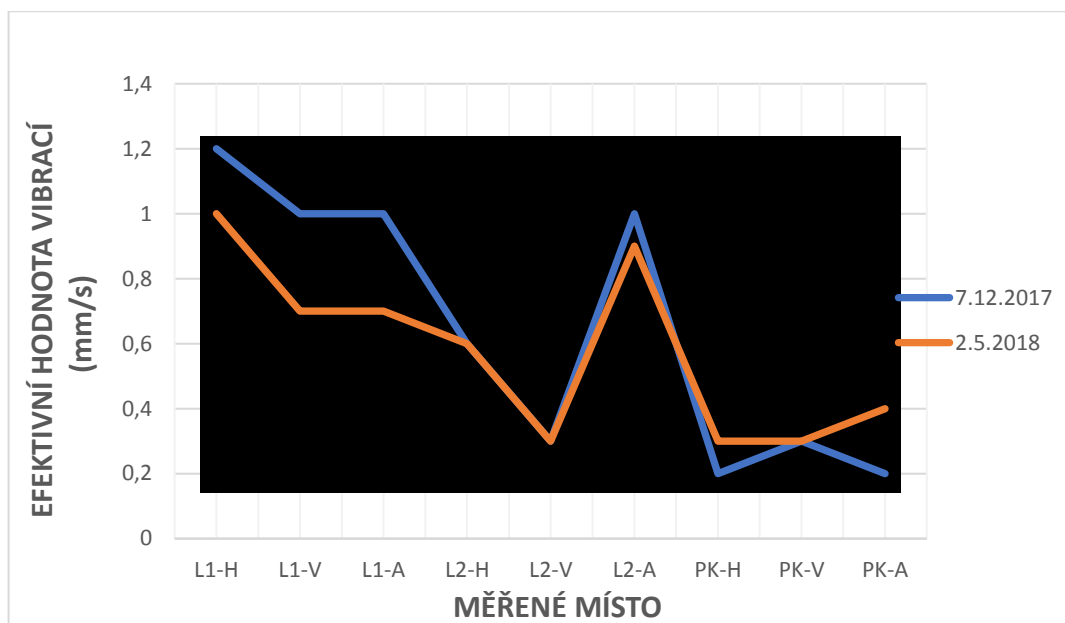
## UNIBAD 14

Vyznačení měřících míst:



Obr. 38 Vyznačená měřící místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 6 Trend vývoje rychlosti vibrací

### Vyhodnocení:

Všechny naměřené hodnoty rychlosti a zrychlení vibrací dle normy ČSN ISO 10816-7 spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze C**

Poněkud zajímavé jsou ale hodnoty rychlosti vibrací u čerpadla UNIBAD 14. Ve frekvenčním spektru rychlosti vibrací se objevují dominantní špičky právě na dvojnásobku otáčkové frekvence, které by mohly ukazovat na menší deformaci hřídele. U obou čerpadel se vyskytují špičky v oblasti 500-600 Hz, které může způsobovat proudění čerpaného media, menší kavitace nebo i vibrace sousedního čerpadla. Frekvenční spektra jsou v **příloze C**.

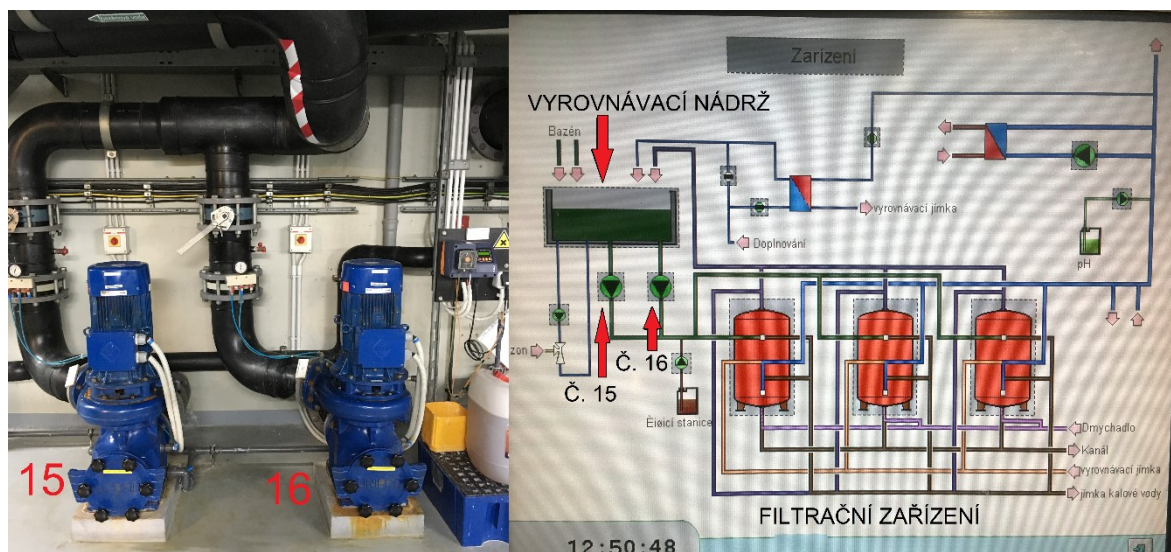
V dalších měřených bodech nebyly nalezeny žádné jiné dominantní špičky ani poruchové frekvence. Trendy vývoje rychlosti vibrací nenaznačují tendenci k nárůstu měřených hodnot.

### Závěr:

Technický stav čerpadel UNIBAD 13 a UNIBAD 14 je vyhovující.



## 6.1.4 UNIBAD 15/16



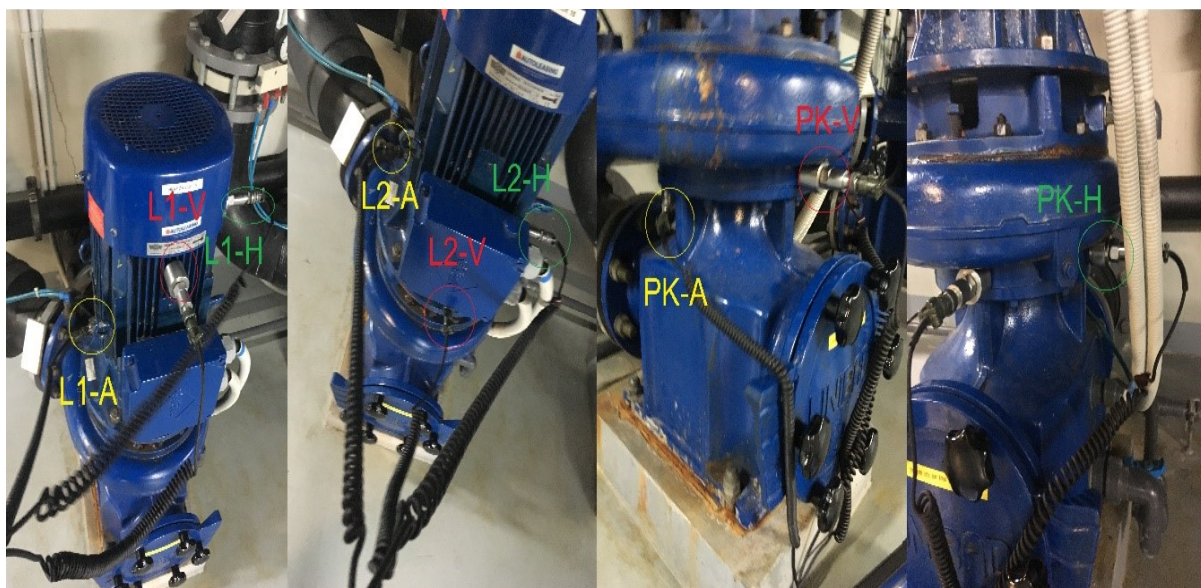
Obr. 39 Schéma filtračního systému [14]

Tab. 7 Technické údaje čerpadel UNIBAD 15 125-271/1104X-W2-VR, UNIBAD 16 125-271/1104X-W2-VR

<b>Světlost výtláčného hrdla DN</b>	125 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	27	<b>Poloha hrdel</b>	VR (viz. kapitola 5.1)
<b>Výkon motoru</b>	11 kW	<b>Průtok</b>	158,5 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	15 m
<b>Výrobní řada</b>	X = standart	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Provozní hodiny UNIBAD 15</b>	77160:05 (hh:mm)		
<b>Provozní hodiny UNIBAD 16</b>	77154:33 (hh:mm)		
<b>Interval údržby</b>	3500:00 (hh:mm)		

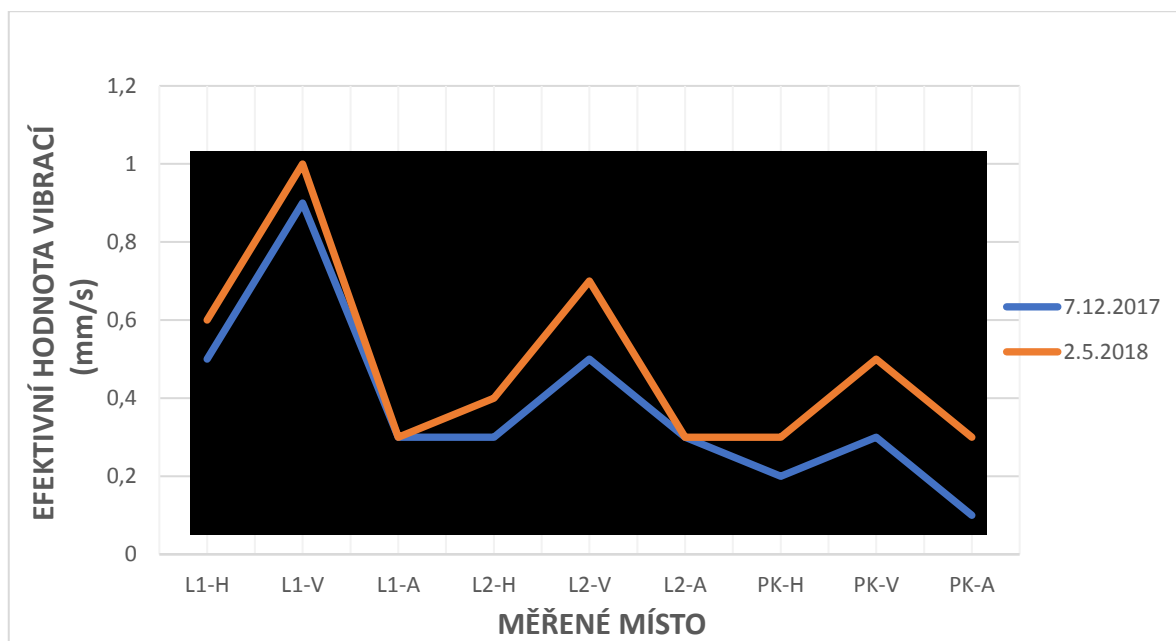
### UNIBAD 15

Vyznačení měřicích míst:



Obr. 40 Vyznačená měřicí místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 7 Trend vývoje rychlosti vibrací

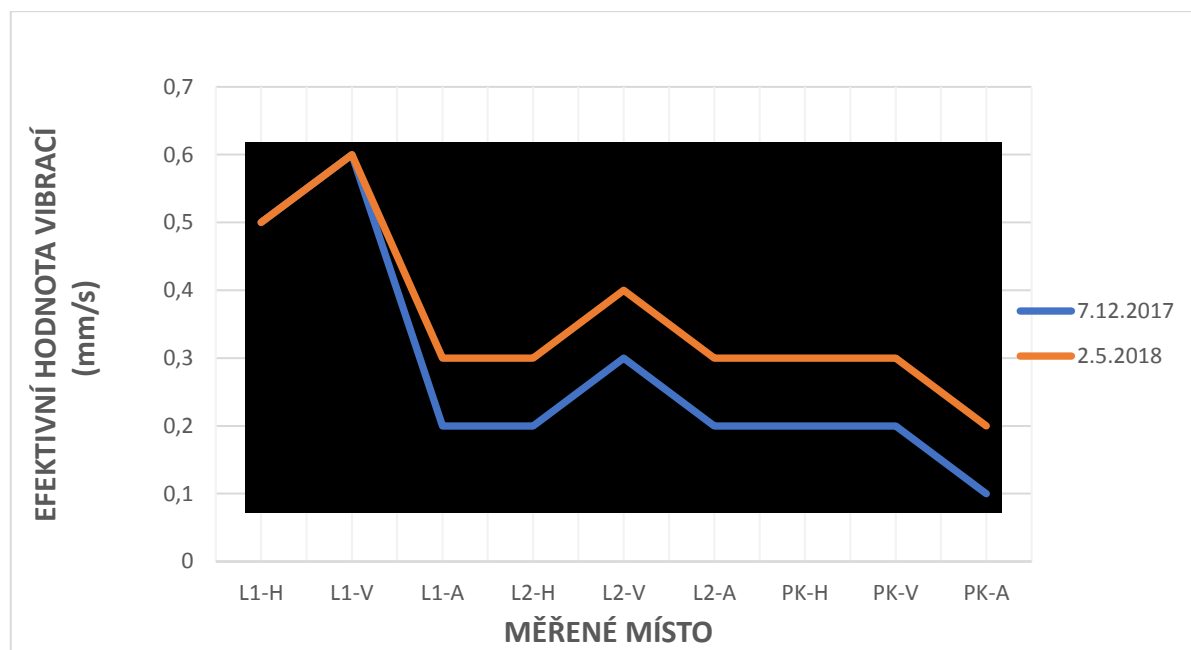
## UNIBAD 16

Vyznačení měřících míst:



Obr. 41 Vyznačená měřící místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 8 Trend vývoje rychlosti vibrací

### Vyhodnocení:

U čerpadel UNIBAD 15 a UNIBAD 16 jsou všechny naměřené hodnoty vibrací velmi malé a pohybují se v doporučených hodnotách. Podle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze D**.

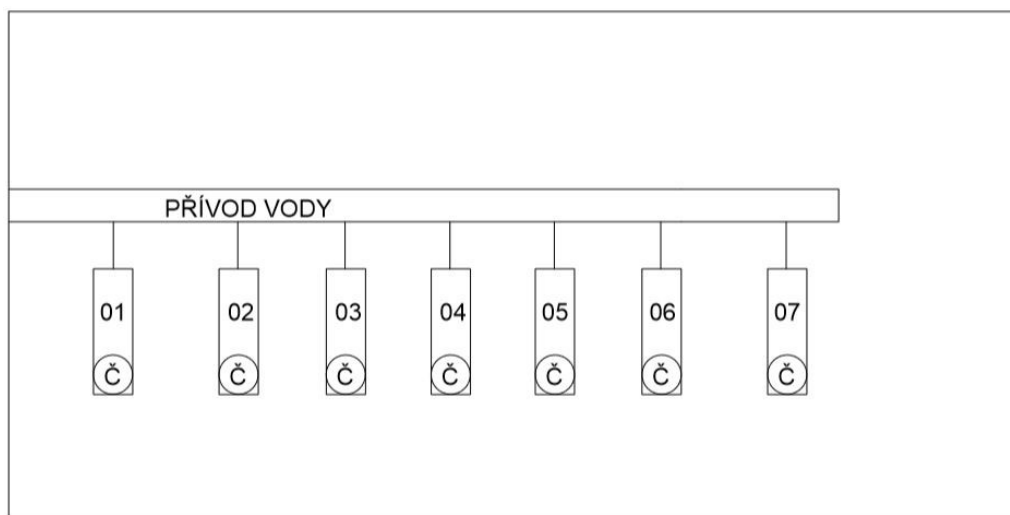
U čerpadla UNIBAD 15 se ve spektru rychlosti vibrací na L1 projevila dominantní špička na prvním násobku otáčkové frekvence v radiálním směru, což by mohlo ukazovat na nevyváženost. Trendy vývoje rychlosti vibrací ukazují u obou měřených čerpadel nárůst hodnot v čase. Zvýšení vibrací je pouze v řádu desetin, a proto jim prozatím není nutno věnovat větší pozornost. Frekvenční spektra jsou v **příloze D**.

### Závěr:

Technický stav čerpadel UNIBAD 15 a UNIBAD 16 je vyhovující.

## 6.2 Horizontální čerpadla

Zde se jedná o odstředivá čerpadla s označením UNIBLOCK (viz. kapitola 5.2). Jejich médiem je voda a jsou používána k dopravě vody k tobogánům, skluzavkám, protiproudům a dalším vodním atrakcím. Zde je v provozu dalších pět čerpadel, která fungují nezávisle na sobě a každé čerpadlo dopravuje medium do jiného místa. I zde jsou čerpadla umístěna na betonovém podstavci ve vnitřních prostorách strojovny, v relativně čistém a bezprašném prostředí.



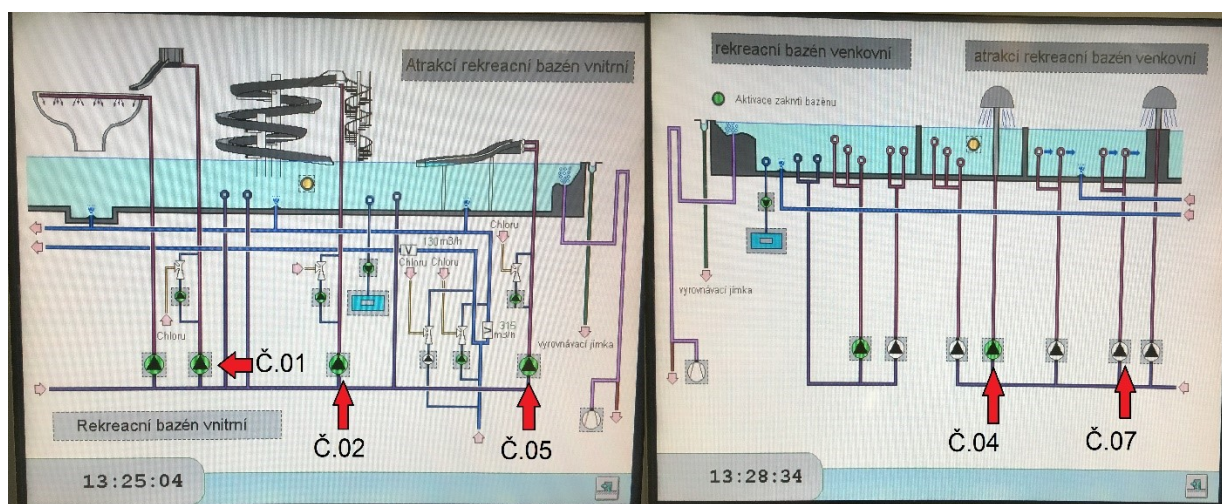
Obr. 42 Umístění čerpadel – schéma [14]

### Vysvětlení označení:

- 1) L1 – ložisko č.1 (dál od pracovní komory);
- 2) L2 – ložisko č.2 (blíže pracovní komoře);
- 3) PK – pracovní komora čerpadla;
- 4) PŘ – příruba;
- 5) V – vertikální směr;
- 6) H – horizontální směr;
- 7) A – axiální směr;
- 8) Č – čerpadlo;



Schéma čerpacího systému:



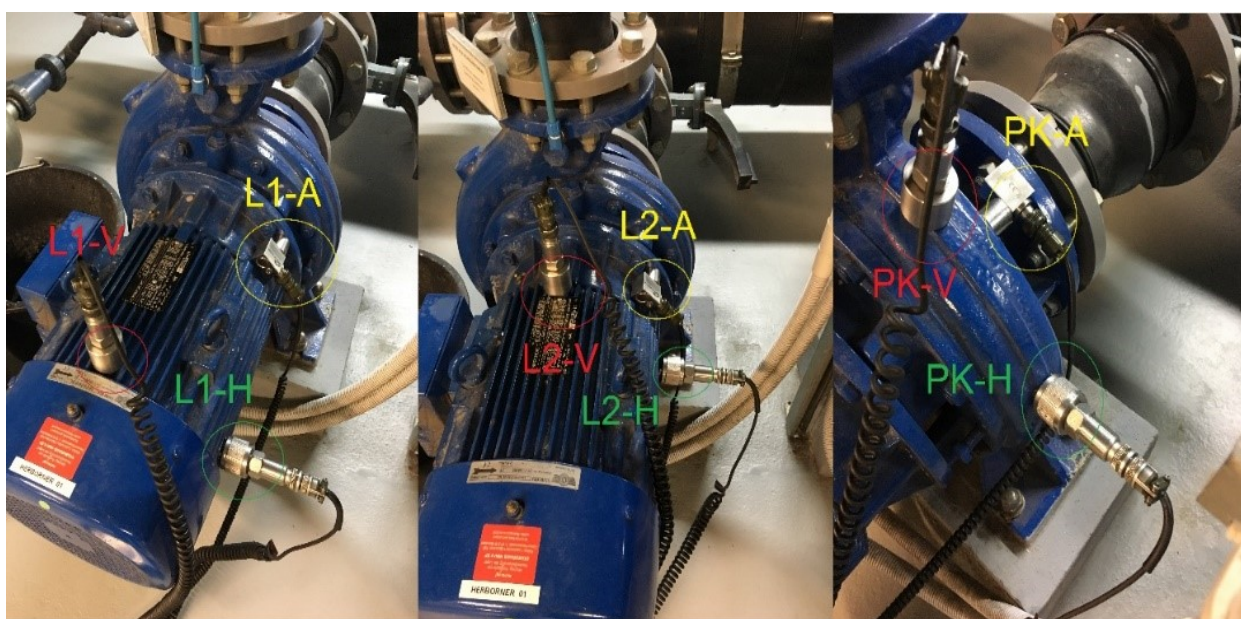
Obr. 43 Schéma čerpacího systému [14]

## 6.2.1 UNIBLOCK 01

Tab. 8 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 01 100-270/0754-GF-W2

<b>Světlost výtlačného hrdla DN</b>	100 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	27	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Výkon motoru</b>	7,5 kW	<b>Průtok</b>	120 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	15,5 m
<b>Výrobní řada</b>	GF = standart	<b>Provozní hod.</b>	28826:52 (hh:mm)
<b>Interval údržby</b>	4000:00 (hh:mm)		

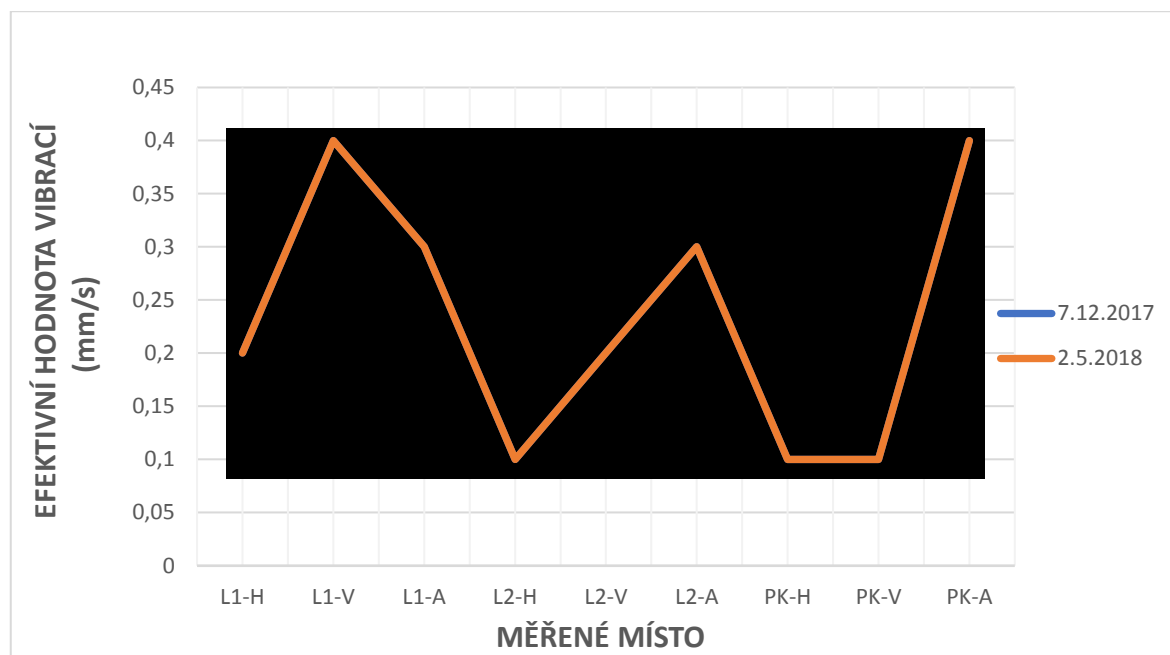
Vyznačení měřících míst:



Obr. 44 Vyznačená měřící místa [14]



Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 9 Trend vývoje rychlosti vibrací

### Vyhodnocení:

U čerpadla UNIBLOCK 01 jsou všechny naměřené hodnoty vibrací velmi malé a pohybují se v doporučených hodnotách. Podle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze E**.

Hodnoty špiček naměřených dat neukazují na přítomnost mechanických závad. V rozboru frekvenčního spektra signálu rovněž nejsou vidět žádné poruchové frekvence (např. ložiskové), které by mohly omezovat chod čerpadla. Trend vývoje rychlosti vibrací nenaznačuje tendenci k nárůstu měřených hodnot.

### Závěr:

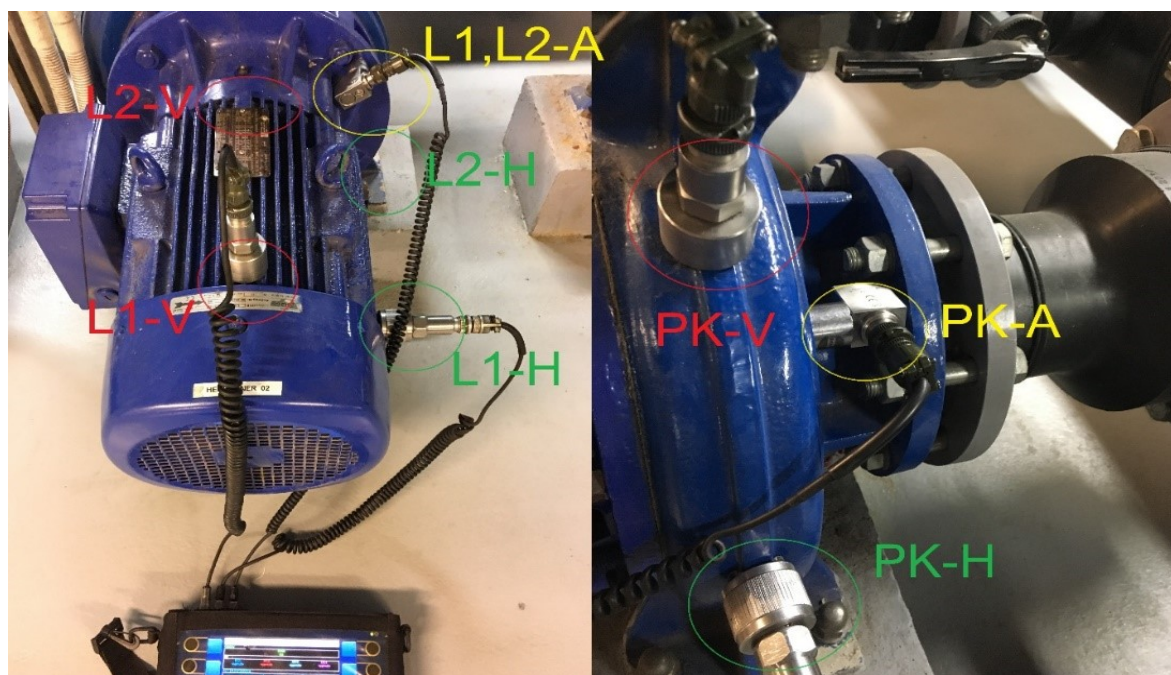
Technický stav čerpadla UNIBAD 01 je vyhovující.

## 6.2.2 UNIBLOCK 02

Tab. 9 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 02 100-270/1104-GF-W2

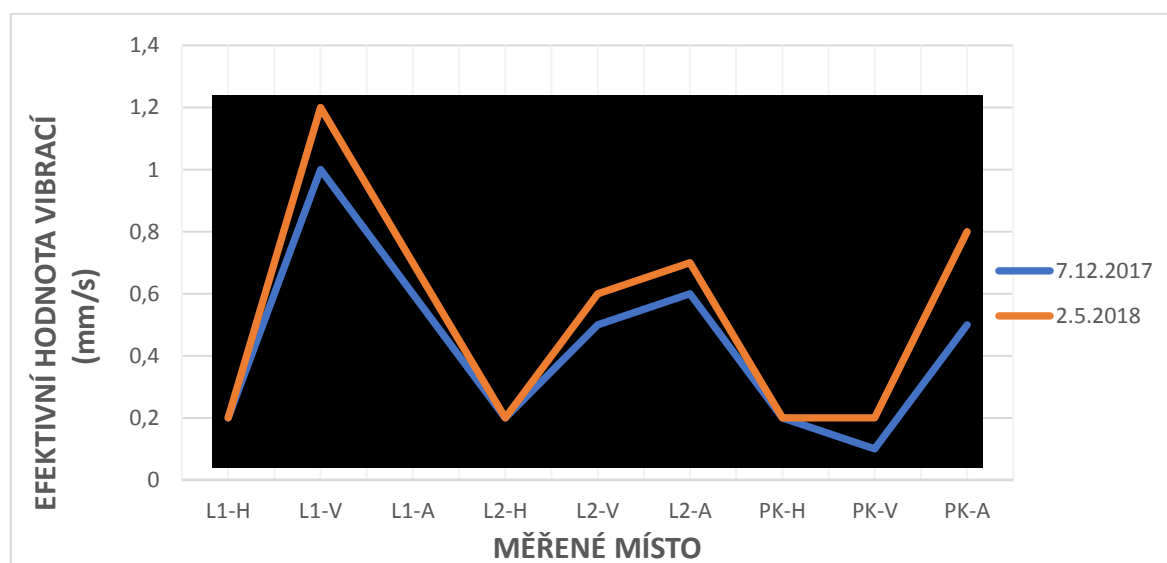
<b>Světlost výtlačného hrdla DN</b>	100 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	27	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Výkon motoru</b>	11 kW	<b>Průtok</b>	180 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	15,5 m
<b>Výrobní řada</b>	GF = standart	<b>Provozní hod.</b>	34305:54 (hh:mm)
<b>Interval údržby</b>	3500:00 (hh:mm)		

Vyznačení měřicích míst:



Obr. 45 Vyznačená měřicí místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 10 Trend vývoje rychlosti vibrací

### **Vyhodnocení:**

U čerpadla UNIBLOCK 02 jsou všechny naměřené hodnoty vibrací velmi malé a pohybují se v doporučených hodnotách. Podle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze F**.

Hodnoty špiček naměřených dat neukazují na přítomnost mechanických závad. V rozboru frekvenčního spektra signálu rovněž nejsou vidět žádné poruchové frekvence (např. ložiskové), které by mohly omezovat chod čerpadla. Trend vývoje rychlosti vibrací nenaznačuje tendenci k nárůstu měřených hodnot.

### **Závěr:**

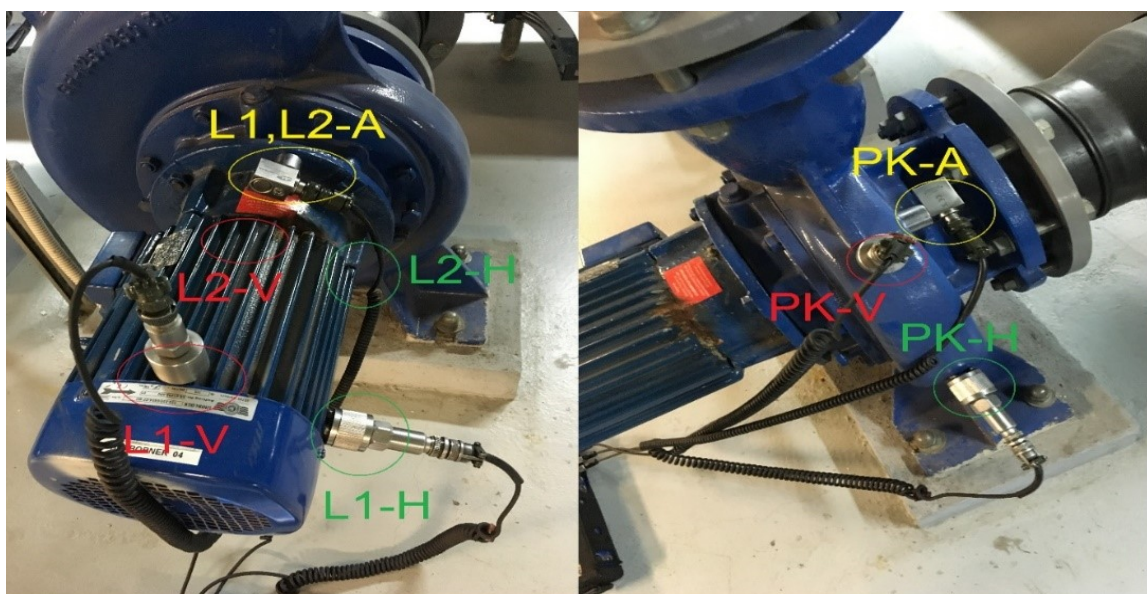
Technický stav čerpadla UNIBAD 02 je vyhovující.

### 6.2.3 UNIBLOCK 04

Tab. 10 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 04 125-250/0404-GF-W2

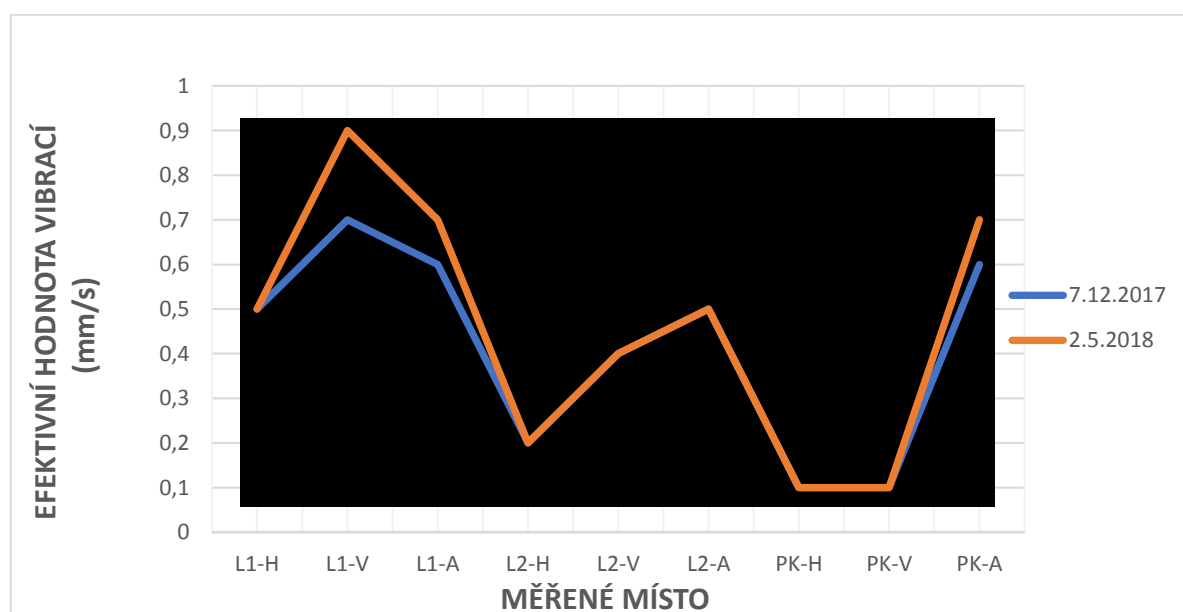
<b>Světlost výtlačného hrdla DN</b>	125 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	25	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Výkon motoru</b>	4 kW	<b>Průtok</b>	150 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	7,5 m
<b>Výrobní řada</b>	GF = standart	<b>Provozní hod.</b>	27069:26 (hh:mm)
<b>Interval údržby</b>	5000:00 (hh:mm)		

Vyznačení měřících míst:



Obr. 46 Vyznačená měřící místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 11 Trend vývoje rychlosti vibrací

### **Vyhodnocení:**

U čerpadla UNIBLOCK 04 jsou všechny naměřené hodnoty vibrací velmi malé a pohybují se v doporučených hodnotách. Podle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze G**.

Hodnoty špiček naměřených dat neukazují na přítomnost mechanických závad. V rozboru frekvenčního spektra signálu rovněž nejsou vidět žádné poruchové frekvence (např. ložiskové), které by mohly omezovat chod čerpadla.

Trend vývoje rychlosti vibrací nenaznačuje výraznou tendenci k nárůstu měřených hodnot. Nárůst rychlosti vibrací je v řádech desetin a pouze v jednom bodě, tudíž je prozatím zanedbatelný.

### **Závěr:**

Technický stav čerpadla UNIBAD 04 je vyhovující.

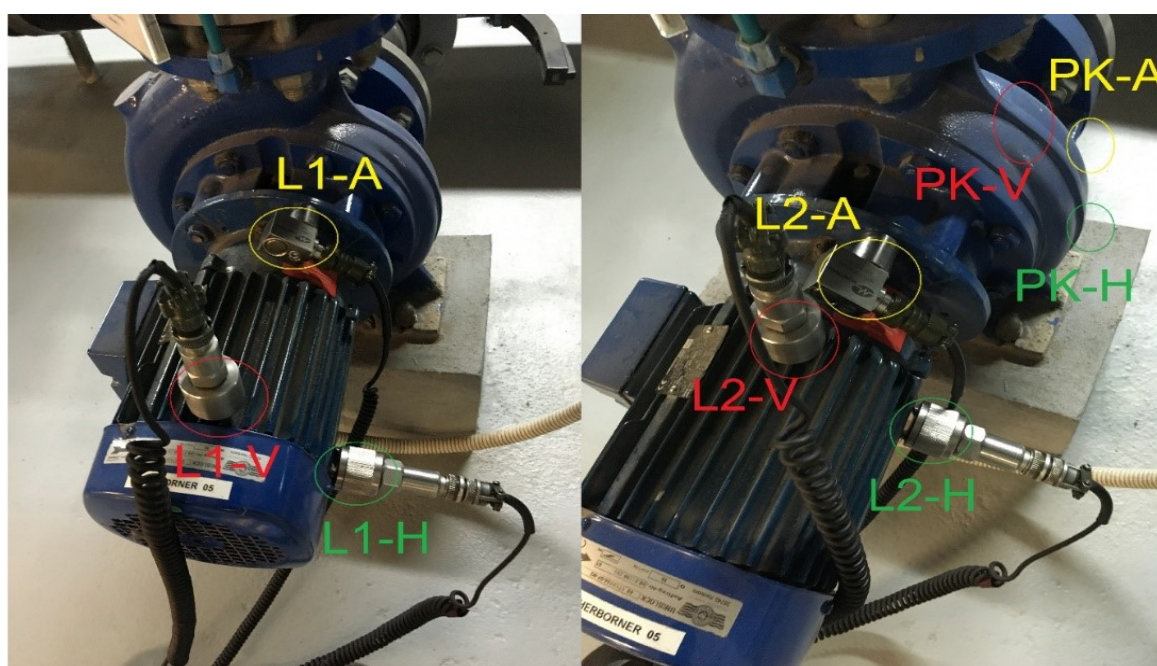


## 6.2.4 UNIBLOCK 05

Tab. 11 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 05 80-171/0154-GF-W2

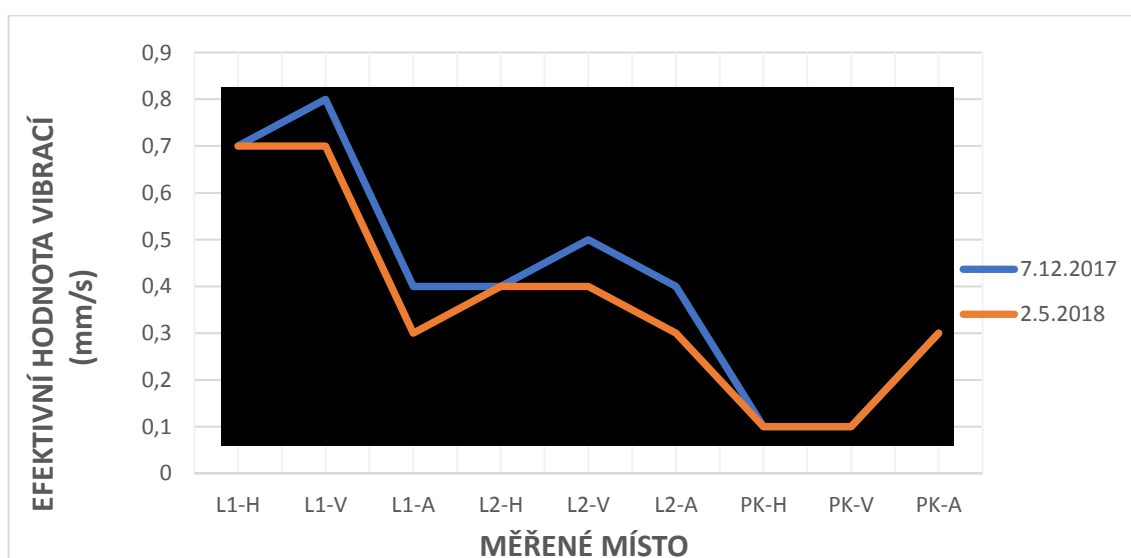
<b>Světlost výtlačného hrdla DN</b>	80 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	17	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Výkon motoru</b>	1,5 kW	<b>Průtok</b>	50 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	7 m
<b>Výrobní řada</b>	GF = standart	<b>Provozní hod.</b>	34803:20 (hh:mm)
<b>Interval údržby</b>	5000:00 (hh:mm)		

Vyznačení měřících míst:



Obr. 47 Vyznačená měřící místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



Graf 12 Trend vývoje rychlosti vibrací

### **Vyhodnocení:**

U čerpadla UNIBLOCK 05 jsou všechny naměřené hodnoty vibrací velmi malé a pohybují se v doporučených hodnotách. Podle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulky naměřených hodnot jsou v **příloze H**.

Ve spektru rychlosti vibrací se objevuje špička okolo 150 Hz. Jelikož je to šestinásobek základní otáčkové frekvence, může se jednat o lopatkovou frekvenci čerpadla. V dalších měřených bodech nebyly nalezeny žádné jiné dominantní špičky ani poruchové frekvence. Trend vývoje rychlosti vibrací nenaznačuje tendenci k nárůstu měřených hodnot. Frekvenční spektra jsou v **příloze H**.

### **Závěr:**

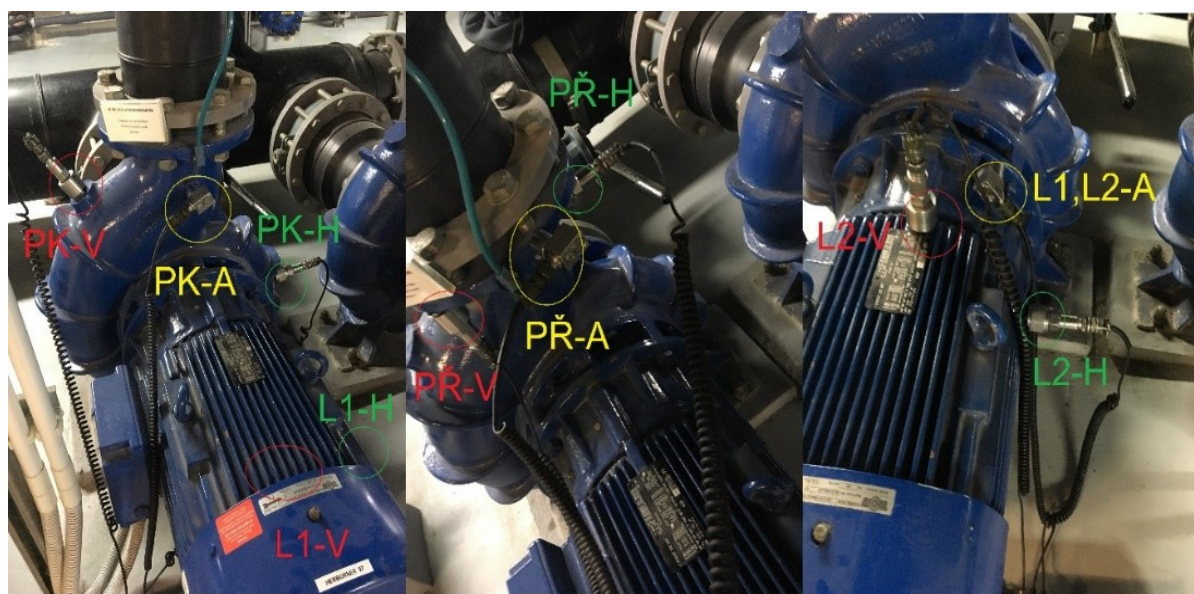
Technický stav čerpadla UNIBAD 05 je vyhovující.

## 6.2.5 UNIBLOCK 07

Tab. 12 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 07 150-270/1504-GF-W2

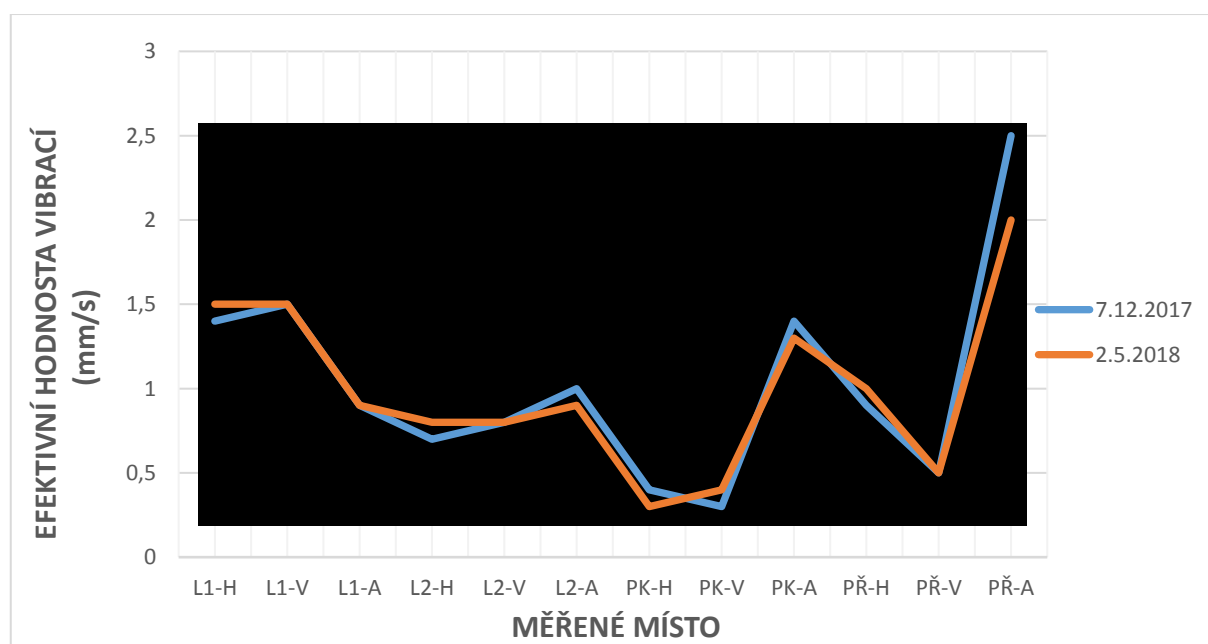
<b>Světlost výtlačného hrdla DN</b>	150 mm	<b>Provedení materiál</b>	Lité díly krom oběžného kola (CuAl10Fe5Ni5-C)
<b>Konstrukční rozměr</b>	27	<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Výkon motoru</b>	15 kW	<b>Průtok</b>	300 m <sup>3</sup> / h
<b>Štítkový počet otáček</b>	1500 min <sup>-1</sup>	<b>Výtlačná výška</b>	12,5 m
<b>Výrobní řada</b>	GF = standart	<b>Provozní hod.</b>	14722:51 (hh:mm)
<b>Interval údržby</b>	3500:00 (hh:mm)		

Vyznačení měřících míst:



Obr. 48 Vyznačená měřící místa [14]

Trend vývoje rychlosti vibrací:



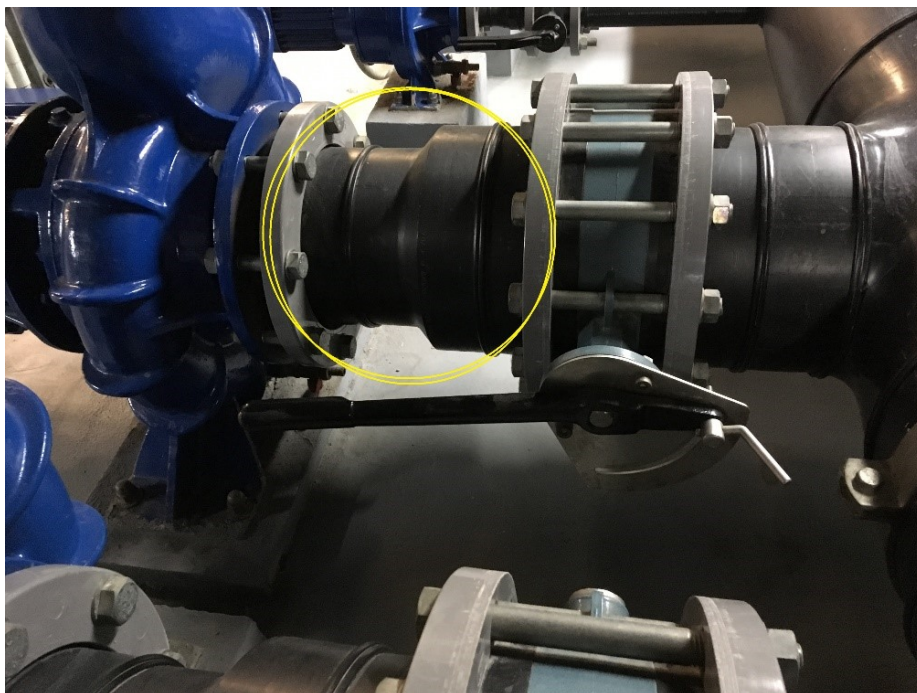
Graf 13 Trend vývoje rychlosti vibrací



### Vyhodnocení:

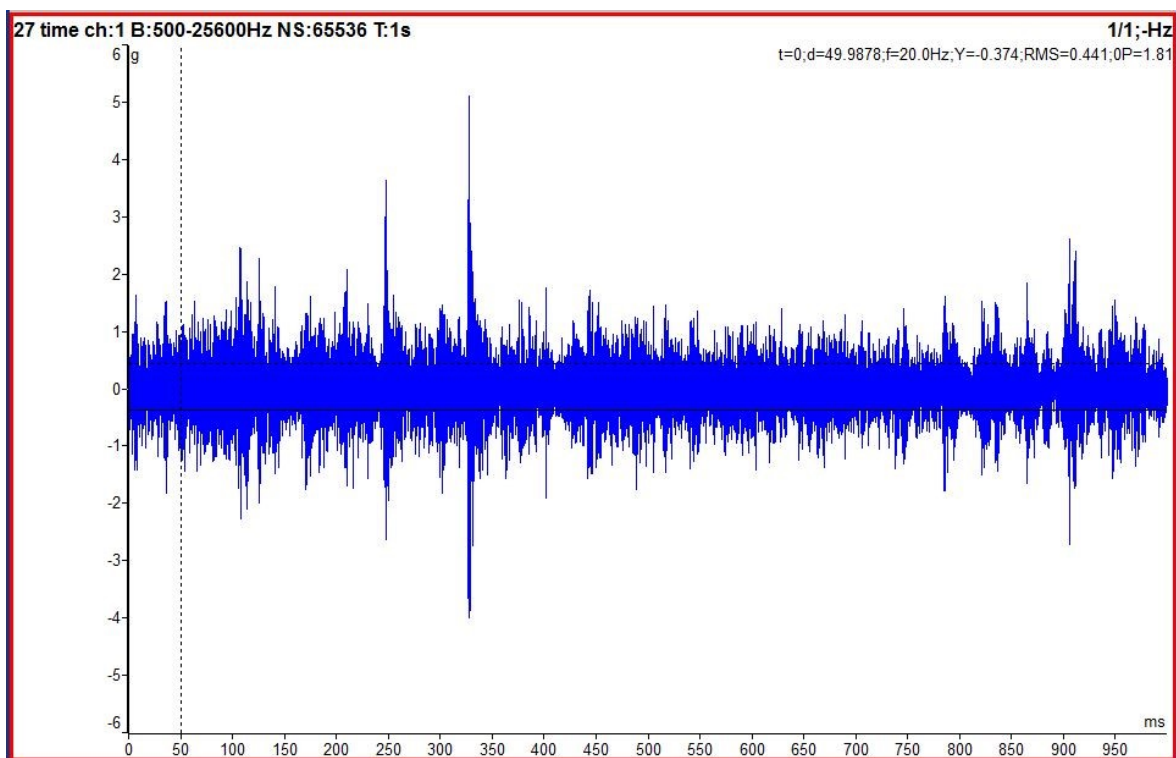
U čerpadla UNIBLOCK 07 se všechny naměřené hodnoty vibrací pohybují v doporučených hodnotách. Dle normy ČSN ISO 10816-7 všechny spadají do pásma *A*. Tabulka naměřených hodnot je v **příloze CH**.

U tohoto čerpadla byly slyšet opakované rázy v místě zúžení potrubí (Obr.49), v blízkosti přívodu vody do oběžného kola.

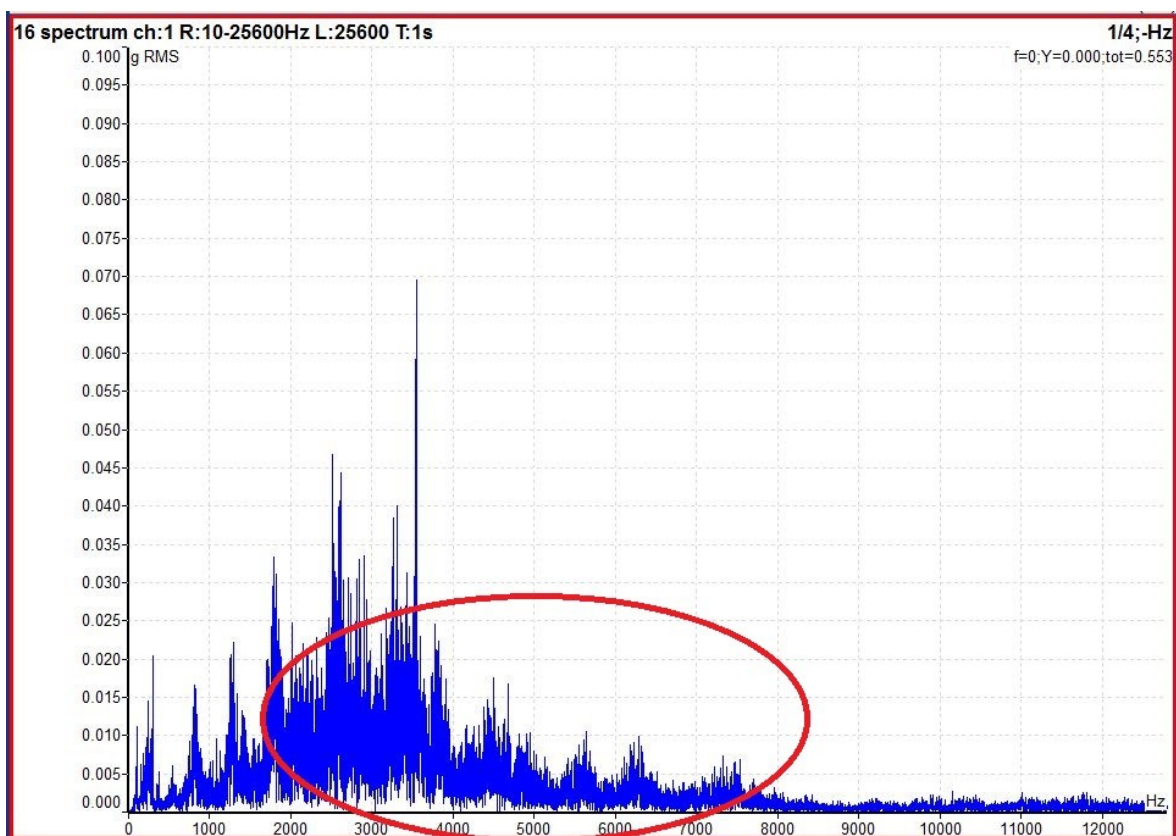


Obr. 49 Znárodnění zúžení průměru potrubí [14]

Na časovém záznamu (Obr.50) jsou jasné vidět vzniklé rázy s větším zrychlením právě od imploze kaveren na stěně potrubí. Na obr.51 lze vidět zajímavé spektrum zrychlení vibrací. Můžeme si povšimnout velké vibrační energie na vysokých frekvencích, které jsou typickým projevem kavitace.



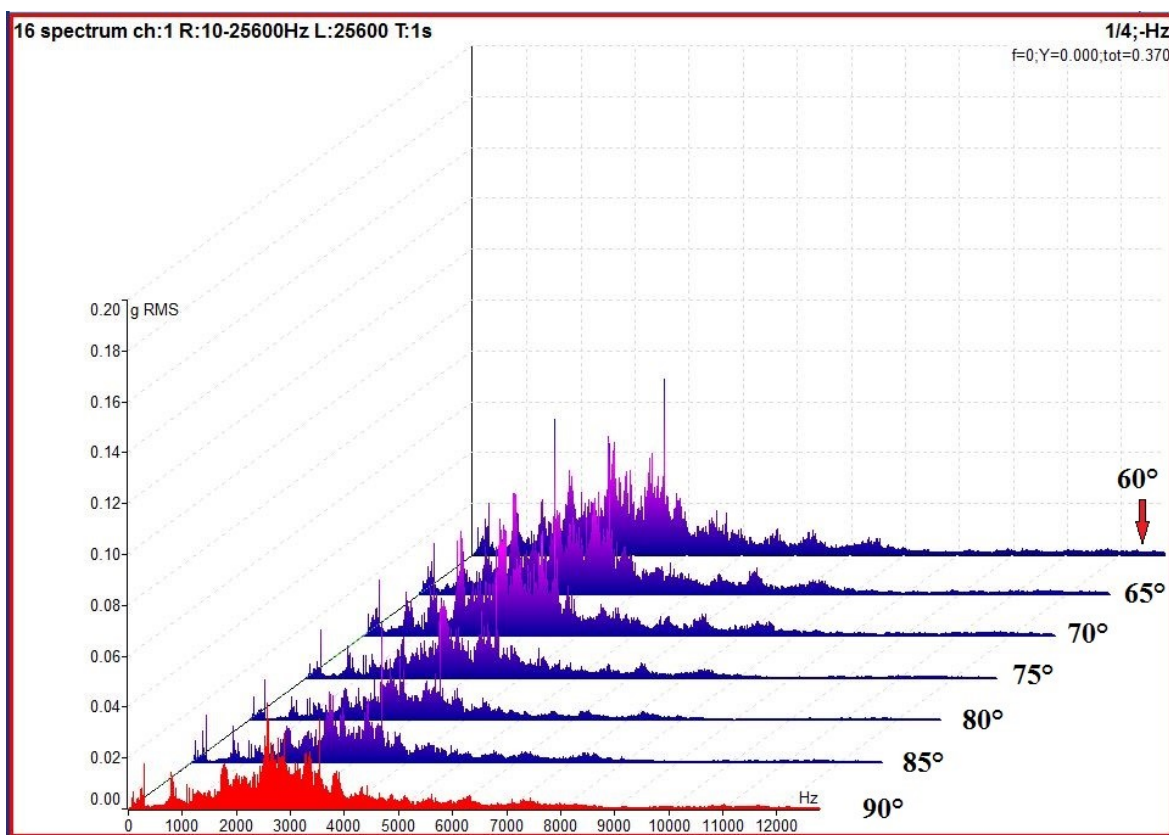
Obr. 50 Časový záznam zrychlení vibrací [14]



Obr. 51 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací [14]

Pro snížení této vibrační energie, která je způsobena zanikáním kaveren implozí na stěnách potrubí, jsem postupně reguloval průtok čerpaného media (Obr.52) pomocí ventilu

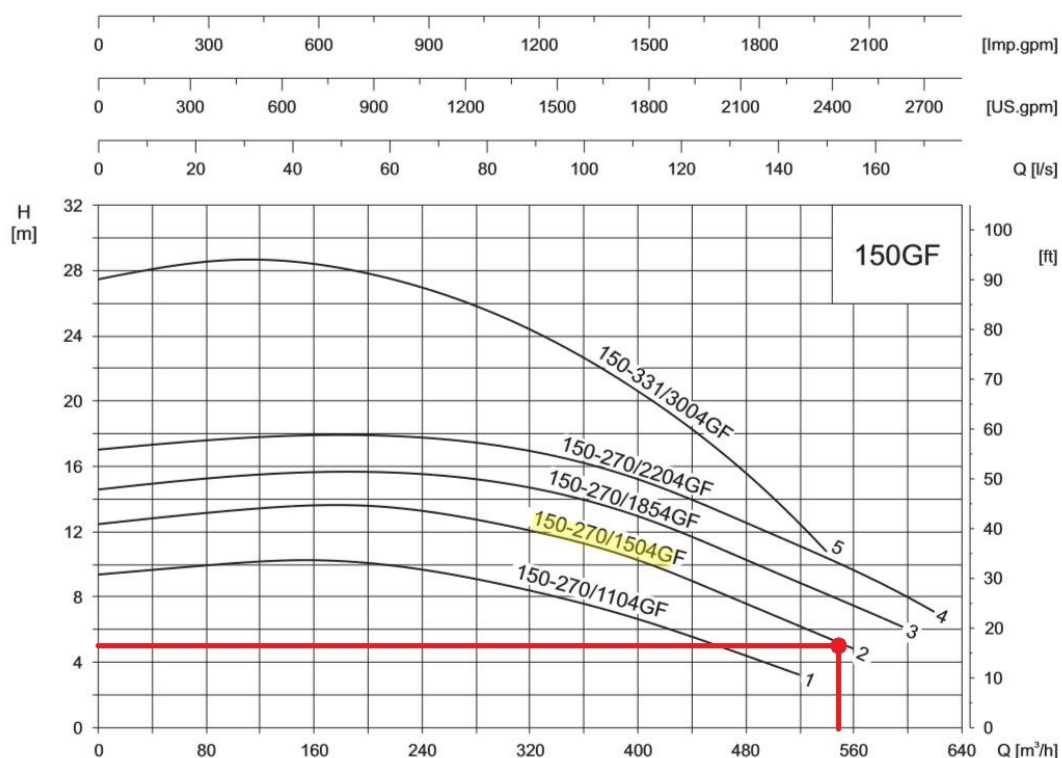
v blízkosti zúžení potrubí. Ventil byl plně otevřen na 90°, postupně jsem ventil přivíral po 5° až na 60° a měřil vibrace na pracovní komoře čerpadla.



Obr. 52 Frekvenční spektra zrychlení vibrací [14]

Regulace průtoku nebyla z pohledu snížení zrychlení vibrací příliš efektivní. K maximálnímu snížení zrychlení vibrací došlo při přivření ventilu na 80°. Jediným možným řešením k částečnému odstranění kavitačního opotřebení je změna tvaru potrubí, tedy konstrukční změna.

Při podrobnějším zkoumání bylo pomocí manometru umístěném na výstupu čerpadla zjištěno, že skutečná výtlačná výška se pohybuje okolo pěti metů. V grafu pracovního rozsahu čerpadla UNIBLOCK 07 bychom se tedy pohybovali někde v oblasti s doporučeným průtokem 540 m<sup>3</sup>/h, tak jak je zvýrazněno na obr.53.



Obr. 53 Pracovní rozsah čerpadla UNIBLOCK 07 [23]

Z pracovního rozsahu čerpadla UNIBAD 07 je patrné, že s touto výtlačnou výškou se čerpadlo nachází na konci křivky a čerpadlo se již pohybuje za hranicí dovoleného pracovního rozsahu (AOR). Právě za hranicí AOR je provoz čerpadla velmi problematický a je velká pravděpodobnost vzniku kavitace a vibrací v celé konstrukci čerpadla. Průtok na výstupu tohoto čerpadla je navíc ještě přiškrcen pomocí ventilu na polovinu, což by také mohlo mít neblahé účinky na chod čerpadla. Pracovní rozsah odstředivých čerpadel je v příloze CH.

### Závěr:

Čerpadlo není vhodně zvolené pro tuto výtlačnou výšku. Technický stav čerpadla UNIBAD 07 je vyhovující.

## 7 CELKOVÝ ZÁVĚR

Cílem této práce bylo pomocí vibrační diagnostiky získat reálný obrázek o technickém stavu měřených čerpadel. Diagnostikováno bylo postupně třináct čerpadel, pět horizontálních a osm vertikálních. Měření proběhlo ve dvou termínech s přibližně pětíměsíčním rozestupem a bylo provedeno za pomoci analyzátoru vibrací ADASH VA4 PRO.

Všechna čerpadla se nacházejí ve velmi čistém a bezprašném prostředí uvnitř zastřešené strojovny. Vertikální čerpadla jsou používána k cirkulaci a k dopravě čerpaného media z vyrovnávací nádrže do filtrační nádoby. Horizontální čerpadla mají za úkol čerpat vodu k vodním atrakcím jako např. tobogánům, skluzavkám atd.

Při vyhodnocování naměřených dat bylo zjištěno, že všechny naměřené hodnoty zrychlení nebo rychlosti vibrací jsou dle normy ČSN ISO 10816-7 vyhovující a řadí se do pásma s nejnižšími vibracemi. Menší náznaky poruch se projevíly na čerpadle s označením UNIBAD 14, kde by spektrum rychlosti vibrací mohlo poukazovat na menší deformaci hřídele. U čerpadla UNIBAD 15 se díky rozboru spektra zjistila nevývaha, ale vzhledem k minimálním naměřeným hodnotám vibrací je tato skutečnost prozatím nepodstatná. Větší problém se vyskytl u čerpadla s označením UNIBLOCK 07, kde byly naměřeny vyšší hodnoty vibrací a byly slyšet opakované rázy uvnitř čerpadla značící kavitační jev. Po důkladném zkoumání bylo zjištěno, že čerpadlo se pohybuje za hranicí dovoleného pracovního rozsahu, kde je již problematický provoz a velká pravděpodobnost vzniku kavitačního opotřebení a vibrací. Z tohoto důvodu usuzuji, že čerpadlo UNIBLOCK 07 není vhodně zvolené a není optimální pro tuto čerpanou výšku.

Celkové zhodnocení všech čerpadel je velmi kladné. Jejich technický stav je vyhovující a jsou schopna provozu takřka bez omezení.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Blatovi Ph.D. za potřebné konzultace a profesionální vedení při vypracovávání mé bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat panu Ing. Daliborovi Přikrylovi a panu Jiřímu Žůrkovi za ochotu, cenné rady a poskytnutí podkladových materiálů.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STUHLÝ, Vladimír. *Teória údržby*. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov, 1993. ISBN 80-7100-056-6.
- [2] POŠTA, Josef, Milan DVOŘÁK a Petr VESELÝ. *Degradace strojních součástí: monografie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2002. ISBN 80-213-0967-9.
- [3] BLÁHA, Jaroslav a Karel BRADA. *Hydrodynamická čerpadla*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-01-00802-9.
- [4] VOJTEK, Jan. *Hydrostatická čerpadla a převody: (návody ke cvičením)*. Praha: České vysoké učení technické, 1988.
- [5] BRADA, Karel a Petr HLAVÍNEK. *Čerpadla ve vodním hospodářství*. Brno: NOEL 2000, 2004. ISBN 80-86020-43-6.
- [6] IVANTYŠYN, Jaroslav a Monika IVANTYŠYNOVÁ. *Hydrostatic pumps and motors: principles, design, performance, modelling, analysis, control and testing*. Přeložil S. N. ALI. New Delhi: Tech Books International, c2003. ISBN 81-88305-08-1.
- [7] PACIGA, Alexander, Oldrich STRÝČEK a Martin GANČO. *Čerpacia technika*. Bratislava: Alfa, 1984.
- [8] TESAŘ, Miroslav. *Provoz a údržba silničních vozidel*. Pardubice: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-248-3278-4.
- [9] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost. I, Tribodiagnostika*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-883-6.
- [10] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost. II, Vibrodiagnostika*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0650-9.
- [11] KROUZA, Václav. *Čerpadla odstředivá a jim příbuzná. I. vydání*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1956.

- [12] FAMFULÍK, Jan. *Teorie údržby*. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007, 237 s. ISBN 978-80-248-1509-1. Dostupné také z:  
<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/index.html>
- [13] [ČSN 015050] ČSN 015050: Opotřebení materiálu. Názvosloví.
- [14] vlastní zdroj
- [15] <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-6dil-pistova-cerpadla>
- [16] [www.roliol.com/clanek/cerpadla-s-rotacnimi-pisty-omac](http://www.roliol.com/clanek/cerpadla-s-rotacnimi-pisty-omac)
- [17] [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?fit\\_w=1;cast=58511;lang=cz](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?fit_w=1;cast=58511;lang=cz)
- [18] <http://docplayer.cz/2216992-Prumyslove-technologie-iii-stroje-a-zarizeni-chemickeho-prumyslu.html>
- [19] <http://docplayer.cz/180546-Organizace-strojni-sluzby-v-jednotkach-sboru-dobrovolnych-hasicu.html>
- [20] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1926>
- [21] [www.tribotechnika.sk](http://www.tribotechnika.sk)
- [22] <http://docplayer.cz/183598-4-opotrebeni-strojnich-soustav-a-vznik-poruch.html>
- [23] interní zdroj Aquapark Olomouc, a.s.



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Údaje motoru výrobní řady X.....	36
Tab. 2 Údaje motoru výrobní řady GF .....	38
Tab. 3 Meze pásem vibrací na nerotujících částech odstředivých čerpadel .....	41
Tab. 4 Technické údaje čerpadel UNIBAD 09, UNIBAD 10 .....	43
Tab. 5 Technické údaje čerpadel UNIBAD 11, UNIBAD 12 .....	46
Tab. 6 Technické údaje čerpadel UNIBAD 13, UNIBAD 14 .....	49
Tab. 7 Technické údaje čerpadel UNIBAD 15, UNIBAD 16 .....	52
Tab. 8 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 01.....	56
Tab. 9 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 02.....	58
Tab. 10 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 04.....	60
Tab. 11 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 05.....	62
Tab. 12 Technické údaje čerpadla UNIBLOCK 07.....	64

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Typy nevyváženosti .....	15
Obr. 2 Druhy nesouososti .....	16
Obr. 3 Příčiny nesouososti .....	16
Obr. 4 Schéma sací a výtlačné výšky .....	19
Obr. 5 Pístové čerpadlo .....	21
Obr. 6 Čerpadlo s rotujícími písty .....	21
Obr. 7 Zubové čerpadlo .....	22
Obr. 8 Lamelové čerpadlo .....	22
Obr. 9 Čerpadlo s pružným rotorem .....	23
Obr. 10 Šroubové čerpadlo .....	23
Obr. 11 Membránové čerpadlo .....	24
Obr. 12 Odstředivé čerpadlo .....	25
Obr. 13 Vícestupňové odstředivé čerpadlo .....	25
Obr. 14 Vrtulové čerpadlo .....	26
Obr. 15 Časový průběh opotřebení .....	28
Obr. 16 Adhezivní opotřebení .....	29
Obr. 17 Abrazivní opotřebení .....	30
Obr. 18 Erozivní opotřebení .....	31
Obr. 19 Poměrná odolnost proti erozi dešťovými kapkami .....	31
Obr. 20 Zánik kaveren-schéma .....	32
Obr. 21 Kavitační opotřebení .....	33
Obr. 22 Únavové opotřebení .....	33
Obr. 23 Vibrační opotřebení .....	34
Obr. 24 Rozměry čerpadla UNIBAD .....	35
Obr. 25 Poloha hrdel UNIBAD .....	36
Obr. 26 Lhůty mazání .....	37

Obr. 27 Rozměry čerpadla UNIBLOCK .....	38
Obr. 28 Lhůty mazání .....	40
Obr. 29 Umístění čerpadel-schéma .....	42
Obr. 30 Schéma filtračního systému .....	43
Obr. 31 Vyznačená měřicí místa .....	43
Obr. 32 Vyznačená měřicí místa .....	44
Obr. 33 Schéma filtračního systému .....	46
Obr. 34 Vyznačená měřicí místa .....	46
Obr. 35 Vyznačená měřicí místa .....	47
Obr. 36 Schéma filtračního systému .....	49
Obr. 37 Vyznačená měřicí místa .....	49
Obr. 38 Vyznačená měřicí místa .....	50
Obr. 39 Schéma filtračního systému .....	52
Obr. 40 Vyznačená měřicí místa .....	52
Obr. 41 Vyznačená měřicí místa .....	53
Obr. 42 Umístění čerpadel – schéma .....	55
Obr. 43 Schéma čerpacího systému .....	56
Obr. 44 Vyznačená měřicí místa .....	56
Obr. 45 Vyznačená měřicí místa .....	58
Obr. 46 Vyznačená měřicí místa .....	60
Obr. 47 Vyznačená měřicí místa .....	62
Obr. 48 Vyznačená měřicí místa .....	64
Obr. 49 Znázornění zúžení průměru potrubí .....	65
Obr. 50 Časový záznam zrychlení vibrací .....	66
Obr. 51 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací .....	66
Obr. 52 Frekvenční spektra zrychlení vibrací .....	67
Obr. 53 Pracovní rozsah čerpadla UNIBLOCK 07 .....	68

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	44
Graf 2 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	45
Graf 3 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	47
Graf 4 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	48
Graf 5 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	50
Graf 6 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	51
Graf 7 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	53
Graf 8 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	54
Graf 9 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	57
Graf 10 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	58
Graf 11 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	60
Graf 12 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	62
Graf 13 Trend vývoje rychlosti vibrací.....	64

## SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha A** – tabulky naměřených hodnot u čerpadel UNIBAD 09 a UNIBAD 10.

**Příloha B** – tabulky naměřených hodnot u čerpadel UNIBAD 11 a UNIBAD 12.

**Příloha C** – tabulky naměřených hodnot u čerpadel UNIBAD 13 a UNIBAD 14, frekvenční spektrum rychlostí vibrací v místě L1 a L2 v horizontálním směru, srovnání frekvenčních spekter rychlosti vibrací ze dne 7.12.2017 a 2.5.2018 v místě L1 v horizontálním směru.

**Příloha D** – tabulky naměřených hodnot u čerpadel UNIBAD 15 a UNIBAD 16, frekvenční spektrum rychlostí vibrací v místě L1 ve vertikálním směru, srovnání frekvenčních spekter rychlosti vibrací ze dne 7.12.2017 a 2.5.2018 v místě L1 ve vertikálním směru.

**Příloha E** – tabulka naměřených hodnot čerpadla UNIBLOCK 01.

**Příloha F** – tabulka naměřených hodnot čerpadla UNIBLOCK 02.

**Příloha G** – tabulka naměřených hodnot čerpadla UNIBLOCK 04.

**Příloha H** – tabulka naměřených hodnot čerpadla UNIBLOCK 05, frekvenční spektrum rychlostí vibrací v místě L1 ve vertikálním směru, srovnání frekvenčních spekter rychlosti vibrací ze dne 7.12.2017 a 2.5.2018 v místě L1 ve vertikálním směru.

**Příloha CH** – tabulka naměřených hodnot čerpadla UNIBLOCK 07, pracovní rozsah odstředivých čerpadel (ČSN ISO 10816-7).